Math. A. 43m in fol.

CONSTRUCTIONEN

AUS DEM

MASCHINENBAU

ENTWORFEN

UNTER LEITUNG DES HERRN PROF. HART

VON DEN

STUDIRENDEN DES II. MASCHINENBAU-CURSES AM GROSSH. POLYTECHNIKUM ZU CARLSRUHE.

WASSERRÄDER UND TURBINEN.

BERECHNUNGEN

ZU BLATT 1 BIS 20.

III. JAHRBUCH DES POLYTECHNISCHEN VEREINS ZU CARLSRUHE.

HEIDELBERG

COMMISSIONSVERLAG VON FR. BASSERMANN.

1877.

CONSTRUCTIONEN

AUS DEM

MASCHINENBAU

ENTWORFEN

UNTER LEITUNG DES HERRN PROF. HART

VON DEN

STUDIRENDEN DES II. MASCHINENBAU-CURSES AM GROSSH. POLYTECHNIKUM ZU CARLSRUHE.

WASSERRÄDER UND TURBINEN.

BERECHNUNGEN

ZU BLATT 1 BIS 20.

III. JAHRBUCH DES POLYTECHNISCHEN VEREINS ZU CARLSRUHE.

HEIDELBERG

COMMISSIONSVERLAG VON FR. BASSERMANN.

1877.

Inhalt.

Wasserräder.

Zeichnung			Seite
		Allgemeine Bezeichnungen	1
Blatt	1.	Schaufelrad mit Kropfgerinne und Spannschütze zum Betriebe einer Mahlmühle	2
„	2. 3.	Eisernes Poncelet-Rad zum Betriebe einer mechanischen Werkstätte	8
„	4. 5.	Eisernes Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf	12
„	6. 7.	Eisernes oberschlächtiges Wasserrad	20
„	8. 9.	Eisernes oberschlächtiges Wasserrad zum Betriebe einer Spinnerei	23

Turbinen.

		Allgemeine Bezeichnungen	29
Blatt	10.	Jonval'sche Hochdruck-Turbine	30
„	11. 12.	Turbinen-Anlage mit 2 Girard-Turbinen zum Betriebe einer Spinnerei	34
„	13. 14.	Turbinen-Anlage mit 2 Girard-Turbinen zum Betriebe einer Spinnerei und Weberei	41
„	15.	Girard-Partialturbine	46
„	16. 17.	Girard-Partialturbine zum Betriebe einer mechanischen Weberei	50
„	18.	Tangentialrad-Anlage zum Betriebe einer mechanischen Weberei	55
„	19. 20.	Tangentialrad-Anlage	58

Vorwort.

Die diesjährige Jahrbuch-Commission übernahm die Aufgabe, den beabsichtigten zweiten Theil des II. Jahrbuches, enthaltend: Berechnungen und Constructionen von Wasserrädern und Turbinen als III. Jahrbuch herauszugeben.

Das Material hiezu lieferten Studirende des II. Maschinenbaukurses. Die Berechnungen sind nach Vorträgen des Herrn Prof. Dr. F. Grashof aufgestellt, während die Constructionen unter der Leitung des Herrn Prof. J. Hart ausgeführt wurden.

Die Durchsicht der behufs der Veröffentlichung zur Verfügung gestellten Arbeiten übernahmen die Vertreter der Maschinenbauschule in der Jahrbuch-Commission: Bertalot, Forter, Heberle, Kropff, Reichert, Schumacher.

Bei der Auswahl und Anordnung des Stoffes zu vorliegendem Werke stand uns Herr Prof. J. Hart mit Rath und That zur Seite, und fühlen wir uns verpflichtet, demselben an dieser Stelle unsern besonderen Dank darzubringen.

Wir übergeben hiermit das III. Jahrbuch der Oeffentlichkeit in der Hoffnung, dass es dieselbe günstige Aufnahme finden möge, wie die vorhergehenden Jahrgänge.

Carlsruhe, im Juni 1877.

Die Jahrbuch-Commission.

I. Abtheilung.

Wasserräder.

Allgemeine Bezeichnungen.

Q das pro Secunde zugeführte Wasserquantum in Kubikmetern.
H das disponible Gefälle in Metern.
$N_o = \frac{1000 \,.\, Q \,.\, H}{75}$ der absolute Effect in Pferdekräften.
$N = \eta \,.\, N_o$ der Nutzeffect in Pferdekräften.
η der Wirkungsgrad.
R der Halbmesser des Rades.
a die Tiefe des Rades.
b die Breite des Rades.
z die Schaufelzahl.
n die Anzahl der Umdrehungen pro Minute.
e die Entfernung zweier Schaufeln (Radtheilung).
u die absolute Geschwindigkeit, mit welcher der mittlere Wasserfaden den Radumfang erreicht, in Metern pro Secunde.
v die Umfangsgeschwindigkeit des Rades in Metern pro Secunde.
ε der Füllungsgrad.
φ der Reibungscoefficient für Wasserreibung.
h die Tiefe des Eintrittspunktes des Wassers in das Rad unter dem Oberwasserspiegel.
$\mathfrak{N}$ die Anzahl der Arme.

Schaufelrad mit Kropfgerinne und Spannschütze zum Betriebe einer Mahlmühle. (Blatt 1.)

Die disponible Wassermenge beträgt
im Maximum . . . . . Q_{max} = 1,75 cbmtr. pro Sec.
im Minimum . . . . . Q_{min} = 1,10 „ „ „
Schwankung des Unterwasserstandes . . ca. 0,18 mtr.
Bei grösstem Wasserzufluss (höchsten Wasserständen) ist das Nutzgefälle . . . H = 1,68 mtr.
Das Rad erhält einen Zahnkranz und soll in den Haupttheilen in Gusseisen ausgeführt werden. Die Transmission ist so anzuordnen, dass die Mahlgänge . . 125 Touren pro Minute machen.
Der Fussboden der Mühle kommt . . . 0,40 mtr. über den höchsten Oberwasserspiegel zu liegen.
Das Stellen der Schütze geschieht von dem höher liegenden Mühlengerüst aus. ca. 2 mtr.

Berechnung des Wasserrades.

Es findet sich der grösste absolute Effect der Wasserkraft $N_o = \frac{1000 \,.\, Q_{max} \,.\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 1{,}75 \,.\, 1{,}68}{75}$ = 39,2 Pfdkr.

Schätzt man den Wirkungsgrad zu . . . . η = 0,50
so erhält man den grössten Nutzeffect des Rades
$N = \eta \,.\, N_o = 0{,}50 \,.\, 39{,}2$ . . . . . = 19,6 Pfdkr.

Der Halbmesser des Rades sei angenommen zu
$R = 2H$ = 3,36 mtr.

Ferner sei angenommen
die Umfangsgeschwindigkeit des Rades . . v = 1,8 „

Dadurch erhält man die Umdrehungszahl des Rades
pro Minute $n = \frac{30 \,.\, v}{R \,.\, \pi} = \frac{30 \,.\, 1{,}8}{3{,}36 \,.\, 3{,}14}$ . . . . . = ∼ 5

Darnach findet sich ein corrigirter Halbmesser des
Rades $R = \frac{30 \,.\, v}{\pi \,.\, n} = \frac{30 \,.\, 1{,}8}{3{,}14 \,.\, 5}$ . . . . . = 3,44 mtr.

Nimmt man einen Füllungsgrad . . . . . $\varepsilon = \frac{1}{2}$

so wird das Verhältniss

$$\frac{b}{a} = 1{,}75 \,.\, \sqrt[3]{N_o} = 1{,}75 \,.\, \sqrt[3]{39{,}2} \quad . \quad . \quad . = \sim 6$$

Mit Rücksicht auf die Gleichung $b = \frac{Q}{\varepsilon \,.\, a \,.\, v}$ wird nun

die Breite $b = \sqrt{\frac{Q_{max}}{\varepsilon \,.\, v} \,.\, \frac{b}{a}} = \sqrt{\frac{1{,}75}{0{,}5 \,.\, 1{,}8} \cdot 6} \quad . \quad . = 3{,}42$ mtr.

die Tiefe $a = \frac{1}{6} b = \frac{1}{6} \,.\, 3{,}42 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}57$ „

Anzahl der Arme $\mathfrak{N} = 2\,(R + 1) = 2 \,.\, 4{,}44 \quad . \quad . = 8$

Die Schaufeltheilung wird vorerst

$$(e) = 0{,}7 \,.\, a + 0{,}2 = 0{,}7 \,.\, 0{,}57 + 0{,}2 \;. = (0{,}599)$$ „

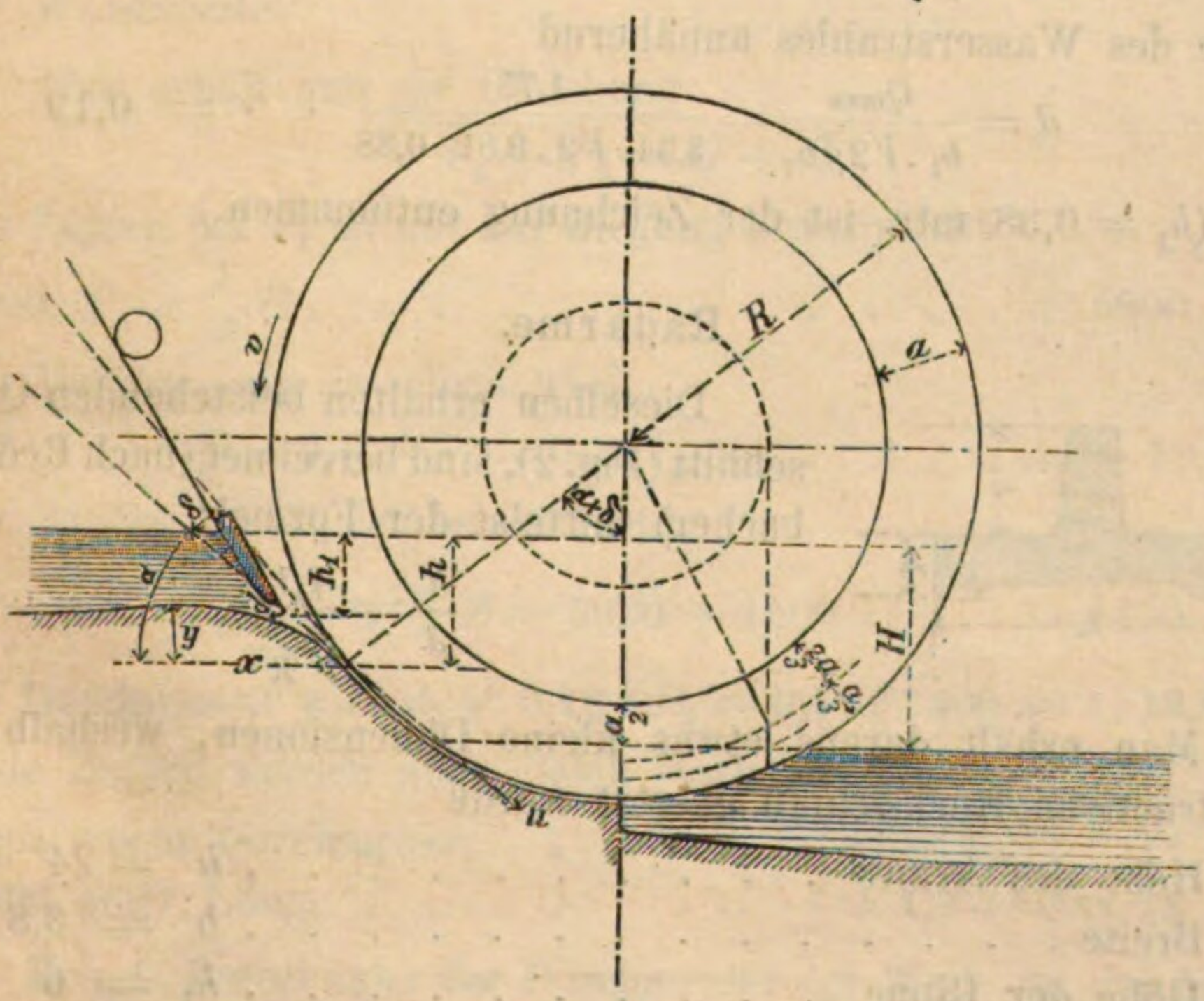
Die Anzahl der Schaufeln wird $i = \frac{2R \,.\, \pi}{(e)} = \frac{2 \,.\, 3{,}44 \,.\, 3{,}14}{(0{,}599)} = \sim 40$

Darnach ändert sich die Schaufeltheilung

$$e = \frac{2R \,.\, \pi}{i} = \frac{2 \,.\, 3{,}44 \,.\, 3{,}14}{40} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}540$$ „

Der Spielraum zwischen Rad und Gerinne betrage $= 0{,}020$ „

Verhältnisse des Einlaufs.



Angenommen sei

Das Verhältniss . . . . . $\frac{v}{u} = 0{,}50$

Der Coefficient . . . . . $\varphi = 0{,}95$

Dann findet sich $u = \frac{v}{0{,}50} = \frac{1{,}8}{0{,}50}$ . . . . $= 3{,}6$ mtr. pro Sec.

Die Höhe $h = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{u^2}{2g} = \frac{1}{0{,}95^2} \cdot \frac{3{,}6^2}{2 \,.\, 9{,}81}$ . . . $= 0{,}732$ mtr.

Die Einlaufscurve besteht aus einer Parabel, deren Abscisse

$$x = \frac{u^2}{2g} \cdot \sin 2\alpha$$

und deren Ordinate

$$y = \frac{u^2}{2g} \cdot \sin^2 \alpha$$

ist. Wählt man den Winkel δ, unter welchem die Tangente an die Parabel den Umfang des Rades trifft (Fig. 1) $\delta = 10°$
so findet sich aus der Zeichnung Winkel . . $\alpha = 40°$
Hiernach erhält man

$$x = \frac{u^2}{2g} \cdot \sin 2\alpha = \frac{3{,}6^2}{2 \,.\, 9{,}81} \sin 80° \;.\;.\;. = 0{,}650 \text{ mtr.}$$

$$y = \frac{u^2}{2g} \cdot \sin^2 \alpha = \frac{3{,}6^2}{2 \,.\, 9{,}81} \sin^2 40° \;.\;. = 0{,}273 \text{ „}$$

Breite des Wasserstrahles vor dem Rade

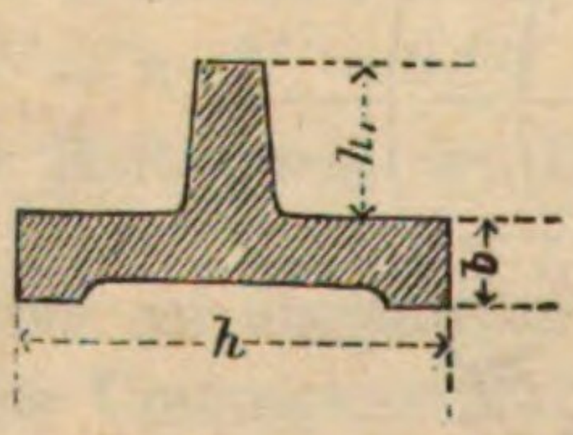
$$b_1 = b - 0{,}1 = 3{,}44 - 0{,}1 \;.\;.\;.\;. = 3{,}34 \text{ „}$$

Dicke des Wasserstrahles annähernd

$$d = \frac{Q_{max}}{b_1 \,.\, \sqrt{2gh_1}} = \frac{1{,}75}{3{,}34 \,.\, \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}38}} \;.\;. = 0{,}19 \text{ „}$$

($h_1 = 0{,}38$ mtr. ist der Zeichnung entnommen.)

Radarme.



Dieselben erhalten beistehenden Querschnitt (Fig. 2), sind berechnet (nach Redtenbacher) mittelst der Formel:

$$\frac{h}{d} = \frac{1{,}7}{\sqrt[3]{\mathfrak{R}}}$$

Man erhält daraus etwas kleine Dimensionen, weshalb aus constructiven Rücksichten gesetzt wurde

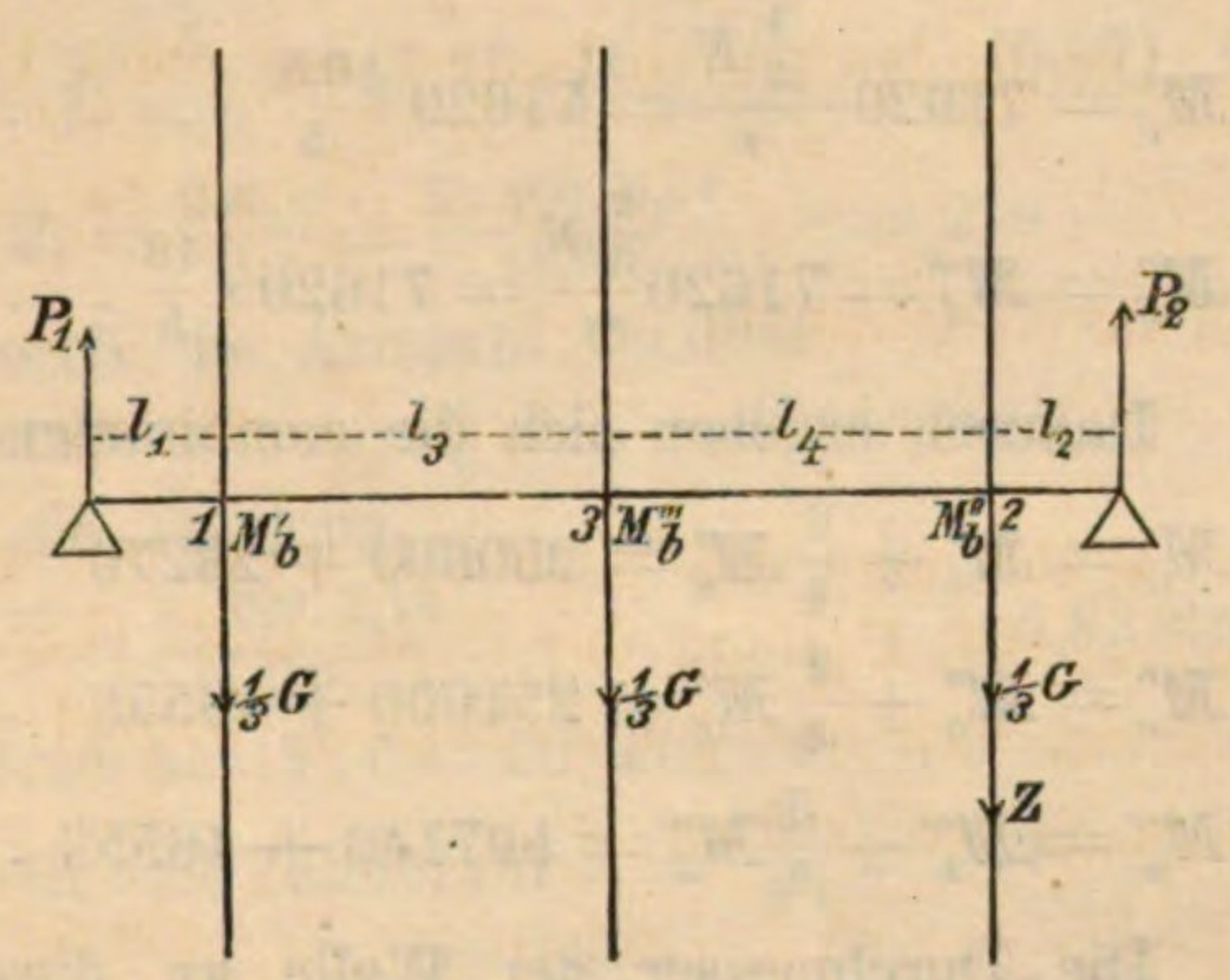
Die Höhe des Armes . . . . . $h = 24$ ctm.
Die Breite . . . . . $b = 3{,}8$ „
Die Höhe der Rippe . . . . . $h_1 = 6$ „

Diese Dimensionen beziehen sich auf den Armquerschnitt nahe an der Rosette; gegen den Radkranz hin erhält die Breite h des Armes eine Verjüngung.

Berechnung der Wasserradwelle.

Die Welle ist auf Biegung und Torsion beansprucht.

Das Gewicht des Rades betrage 600 klgr. pro Pfrdkrft, somit erhält man annähernd das Gesammtgewicht des Rades



$G = 600 \,.\, 19{,}6 \;.\;.\;.\

$M_b' = P_1 \,.\, l_1 = 5900 \,.\, 34 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; = 200600$ klgrctm.

$M_b'' = P_2 \,.\, l_2 = 7400 \,.\, 34 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; = 251600$ „

$M_b''' = P_1 (l_1 + l_3) - \frac{1}{3} G \,.\, l_3 = 5900 \,.\, (34 + 156) - 3935 \,.\, 156$

$= 507140$ klgrctm.

Ausserdem erhält man noch die verdrehenden Momente:

$M_d' = 71620 \cdot \frac{\frac{1}{3} N}{n} = 71620 \cdot \frac{6{,}5}{5} \;.\;.\;.\;.\; = 93106$ klgrctm.

$M_d'' = M_d''' = 71620 \frac{\frac{2}{3} N}{n} = 71620 \cdot \frac{13}{5} \;.\;.\;.\; = 186212$ „

Dadurch ergeben sich die combinirten Momente:

$M_c' = M_b' + \frac{1}{4} M_d' = 200600 + 23276 \;.\;.\; = 223876$ klgrctm.

$M_c'' = M_b'' + \frac{1}{4} M_d'' = 251600 + 46553 \;.\;.\; = 298153$ „

$M_c''' = M_b''' + \frac{1}{4} M_d''' = 507140 + 46553 \;.\;.\; = 553693$ „

Die Durchmesser der Welle an diesen 3 Stellen ergeben sich nun bei einem Festigkeitscoefficienten $k = 300$ klgr. pro □ ctm. zu

$d' = \sqrt[3]{\frac{M'c}{30}} = \sqrt[3]{\frac{223876}{30}} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; = \sim 20$ ctm.

$d'' = \sqrt[3]{\frac{M''c}{30}} = \sqrt[3]{\frac{298153}{30}} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; = \sim 21{,}5$ „

$d''' = \sqrt[3]{\frac{M'''c}{30}} = \sqrt[3]{\frac{553693}{30}} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\; = \sim 26{,}5$ „

Da auch diese Dimensionen etwas schwach erscheinen, macht man

den Durchmesser . . . . . $d' = d'' = 24$ ctm.

„ „ . . . . . $d''' = 36$ „

Berechnung der Transmission.

Der ganze Effect der Wasserkraft soll durch einen Zahnkranz, welcher an dem äussersten Armsystem angeschraubt ist, übertragen werden auf die Transmission der Mahlgänge, welche der Aufgabe zufolge 125 Touren pro Minute zu machen haben.

Das Wasserrad macht 5 Touren pro Minute, daher ist eine Uebersetzung nöthig . . . . . $i = \frac{125}{5} = 25.$

Um diese Uebersetzungszahl zu erreichen, sind 4 Uebersetzungen angewendet (siehe Dispositionszeichnung), nämlich 1 : 6 : 2,5 : 1,5 : 1,12.

Der am Wasserrad befestigte Zahnkranz erhält innere Verzahnung und einen Halbmesser . . . . . $R_1 = 2{,}60$ mtr.

Darnach findet sich die Theilung

$$(t_1) = 47{,}72 \cdot \sqrt{\frac{N}{nR_1}} = 47{,}72 \cdot \sqrt{\frac{19{,}6}{5 \cdot 260}} = (5{,}87) \text{ ctm.}$$

Die Zähnezahl wird $Z_1 = \frac{2R_1\pi}{(t_1)} = \frac{2 \cdot 260 \cdot 3{,}14}{(5{,}87)} \cdot = 278$

Da die Zähnezahl durch die Armzahl theilbar sein muss, ist gesetzt . . . . . $Z_1 = 280$

Darnach ändert sich die Theilung

$$t_1 = \frac{2R_1\pi}{Z_1} = \frac{2 \cdot 260 \cdot 3{,}14}{280} \cdot \cdot \cdot \cdot = 5{,}83 \text{ ctm.}$$

Das zugehörige Stirnrad hat $5 \cdot 6 = 30$ Touren zu machen und erhält eine Zähnezahl $z_1 = \frac{280}{6} = 47$

Der Halbmesser wird $r_1 = \frac{z_1 \cdot t_1}{2\pi} = \frac{47 \cdot 5{,}83}{2 \cdot 3{,}14} \cdot \cdot = 43{,}63$ „

Die Welle, auf welcher das Stirnrad sitzt, hat ein verdrehendes Moment auszuhalten

$$M_d = 71620 \cdot \frac{N}{n} = 71620 \cdot \frac{19{,}6}{30} \cdot \cdot = 46785 \text{ klgrctm.}$$

mithin erhält die Welle einen Durchmesser

$$d = 0{,}29 \sqrt[3]{46785} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot = 10{,}5 \text{ ctm.}$$

Die weitere Uebersetzung zur Transmission der Mahlgänge geschieht mittelst conischer Räder und Riemenscheiben.

Das auf der Stirnrad-Welle sitzende grössere conische Rad erhält Holzzähne; der Halbmesser desselben sei $R_2 = 90$ ctm.

die Theilung wird . . . . . $t_2 = 4{,}95$ „

die Zähnezahl . . . . . $Z_2 = 136$

Das zugehörige conische Rad bekommt eine Zähnezahl

$$z_2 = \frac{136}{2{,}5} = 54$$

eine Theilung . . . . . $t_2 = 4{,}95$ „

und einen Halbmesser . . . . . $r_2 = 42{,}56$ ctm.

Der Halbmesser des conischen Rades vom letzten Räderpaar sei . . . . . $R_3 = 42{,}76$ „

die Theilung wird . . . . . $t_3 = 3{,}73$ „

die Zähnezahl . . . . . $Z_3 = 72$

Das zugehörige kleinere conische Rad erhält die

Zähnezahl . . . . . $z_3 = \frac{72}{1,5} = 48$

die Theilung . . . . . $t_3 = 3,73$ ctm.

den Halbmesser . . . . . $r_3 = 28,5$ „

Die grössere Riemenscheibe erhält einen Halbmesser . . . . . $R_4 = 30$ „

Die kleinere Riemenscheibe erhält einen Halbmesser . . . . . $r_4 = 27$ „

Schützen-Aufzug.

Die Anordnung ist derart, dass die Kraft zum Aufziehen der Schütze sehr gering ist.

Das Schützenbrett erhält 2 Zahnstangen, in welche

Getriebe eingreifen von einer Zähnezahl . . $z = 10$

einer Theilung . . . . . $t = 4,88$ ctm.

und einem Halbmesser . . . . . $r = 7,77$ „

Die Bewegung dieser Getriebe, also diejenige des ganzen Schützen geschieht mittelst eines Schneckenrades und einer Schraube ohne Ende.

Die Zähnezahl des Schneckenrades wird . . . $Z = 20$

Die Theilung . . . . . $t = 4,85$ ctm.

Der Halbmesser . . . . . $R = 15,44$ „

Die einfachgängige Schraube erhält einen Halbmesser $r = 6,43$ „

August Reichert.

Eisernes Poncelet-Rad zum Betriebe einer mechanischen Werkstätte. (Blatt 2 und 3.)

Es soll ein eisernes Poncelet-Rad zum Betriebe einer mechanischen Werkstätte construirt werden.

Die grösste Aufschlagwassermenge beträgt $Q = 980$ Liter pro Secd.

Das nutzbare Gefälle ist . . . . . $H = 0,95$ mtr.

Der Fussboden der Maschinenwerkstätte soll über den Oberwasserspiegel zu liegen kommen. $= 0,15$ „

Die Höhe des Werkstätteraumes ist . . . $= 3,70$ „

Die zu betreibende Deckentransmission kommt = 0,42 mtr.
unter der Decke zu liegen und soll pro
Minute machen . . . . . = 85 Touren.

Für die Arme soll └─┘ Eisen angewendet werden.

Die Regulirschütze soll von einer leicht zugänglichen Stelle der Werkstätte aus von Hand gestellt werden können.

Berechnung des Wasserrades.

Für ein Gefälle, wie oben angegeben, wählt man
den Halbmesser des Rades $R = 2 \,.\, H = 2.0{,}95$ = 1,90 mtr.

Die Kranzbreite macht man $= \frac{2}{3} H = \frac{2}{3} \cdot 0{,}95$. = 0,63 „

Die Radbreite wird (nach Grashof)

$$b = 6 \cdot \frac{Q}{H\sqrt{2\,g\,H}} = 6 \cdot \frac{0{,}98}{0{,}95\sqrt{2\,.\,9{,}81\,.\,0{,}95}} = 1{,}43 \text{ „}$$

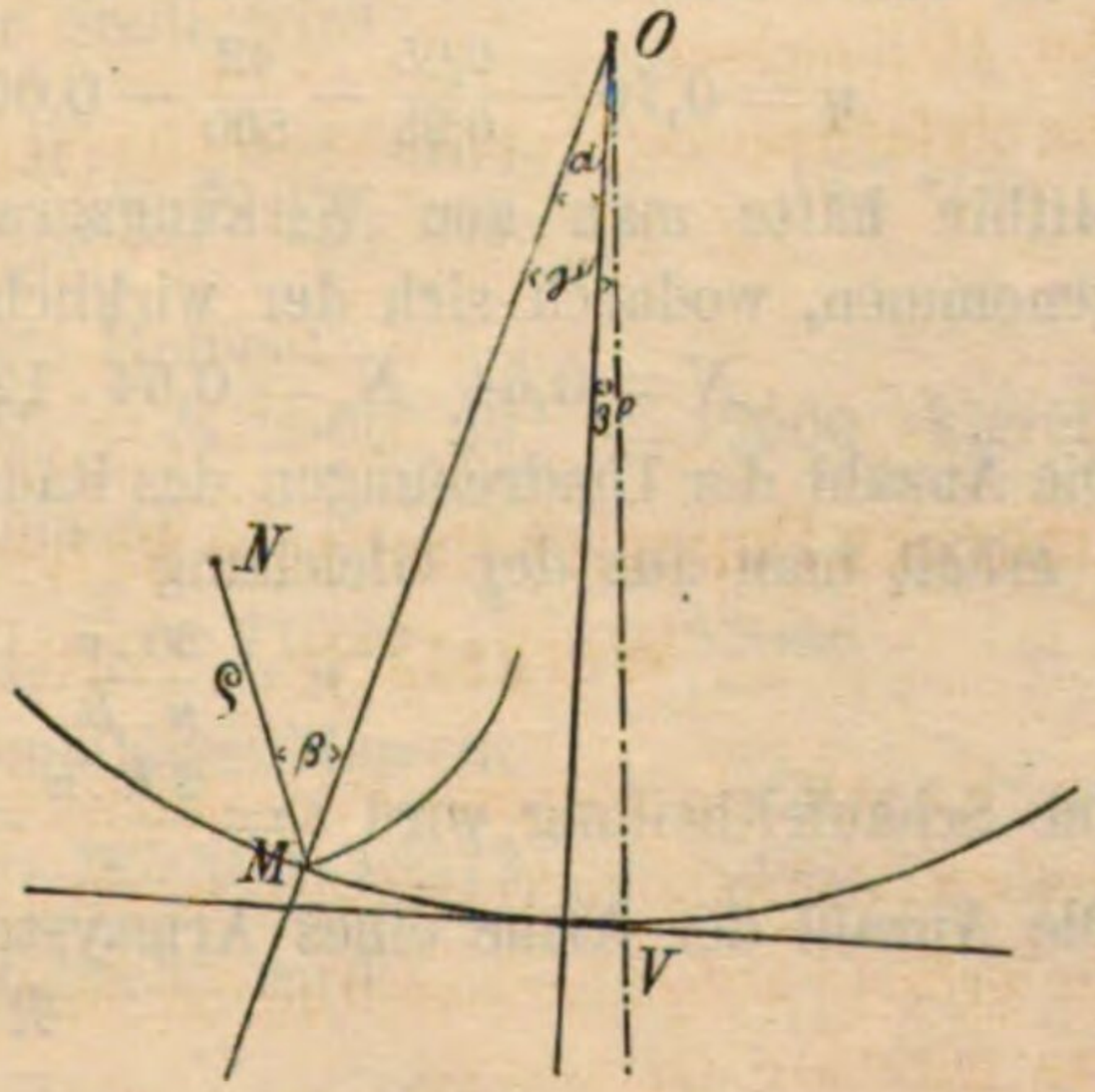
Die Dicke a_1 des dem Rade zufliessenden Wasserstrahles betrage (nach Grashof) $a_1 = \frac{1}{6} \cdot H = \frac{1}{6} \cdot 0{,}95$ = 0,16 „

Der Krümmungshalbmesser der Schaufeln sei angenommen zu $\varrho = \frac{1}{2} H = \frac{1}{2} \cdot 0{,}95$ . . . . . = 0,475 „

Es sei für Figur 4:

O der Mittelpunkt des Rades,

α der Winkel, welchen die Tangente an das Rad an der mittleren Eintrittsstelle mit der Richtung des zuströmenden Wassers bildet; der Zuflusskanal sei um 3° gegen den Horizont geneigt. Man erhält nun den mittleren Eintrittspunkt des Wassertheilchens, indem man an die Normale $O\,V$ unter dem Winkel $\gamma = \alpha + 3^0$ (α gewöhnlich $= 15^0$) einen Radius zieht und mit diesem den Radumfang schneidet.



Die Radschaufeln lässt man den Umfang des Rades unter einem Winkel $\beta = 30^0$ schneiden.

Mit Hilfe des Krümmungsradius ϱ und des Winkels β lässt sich die Schaufelcurve verzeichnen.

Der Spielraum zwischen Rad und Gerinne sei . = 0,015 mtr.

Die Schaufelzahl sei angenommen zu . . . . $z = 42$

Die Schaufeldicke betrage . . . . . $\delta =$ 0,005 „

Die Umfangsgeschwindigkeit v des Rades erhält man aus der Gleichung:

$$v = 0{,}5 \,.\, \sqrt{2\,g\,.\,H} = 0{,}5 \,.\, \sqrt{2\,.\,9{,}81\,.\,0{,}95} \;. \quad = 2{,}156 \text{ „}$$

Die Tiefe des Wassers im Abflusskanal sei

$$0{,}6\,H = 0{,}6\,.\,0{,}95 \quad . \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. \quad = 0{,}57 \text{ „}$$

Die Schütze sei um 60^0 bis 70^0 gegen den Horizont geneigt.

Der absolute Effect dieses Rades beträgt

$$N_o = \frac{1000\,.\,Q\,.\,H}{75} = \frac{1000\,.\,0{,}98\,.\,0{,}95}{75} = 12{,}4 \text{ Pfdkr.}$$

Nimmt man vorläufig den Wirkungsgrad . . . $\eta = 0{,}65$

so erhält man einen Nutzeffect

$$N = \eta\,.\,N_o = 0{,}65\,.\,12{,}4\,. \;. \quad = 8{,}06 \text{ Pfdkr.}$$

Rechnet man nun mit Zugrundlegung des eben gefundenen Nutzeffects den Wirkungsgrad η aus folgender Gleichung (nach Grashof)

$$\eta = 0{,}76 - \frac{0{,}05}{H} - \frac{z}{800} - 0{,}0055\,.\,\sqrt{\frac{N}{H}}$$

so findet sich nach Einsetzen der Werthe

$$\eta = 0{,}76 - \frac{0{,}05}{0{,}95} - \frac{42}{800} - 0{,}0055\,.\,\sqrt{\frac{8{,}06}{0{,}95}} = 0{,}64$$

Mithin hätte man den Wirkungsgrad η um 1% zu hoch angenommen, wodurch sich der wirkliche Nutzeffect ergibt zu

$$N = 0{,}64\,.\,N_o = 0{,}64\,.\,12{,}4 = 7{,}94 \text{ Pfdkr.}$$

Die Anzahl der Umdrehungen des Rades pro Minute erhält man aus der Gleichung

$$n = \frac{30\,.\,v}{\pi\,.\,R} = \frac{30\,.\,2{,}156}{3{,}14\,.\,1{,}90} \;.\quad .\; = 10{,}8 \sim 11$$

Die Schaufeltheilung wird $t = \frac{2\,R\,.\,\pi}{z} = \frac{2\,.\,1{,}90\,.\,3{,}14}{42} = 0{,}284$ mtr.

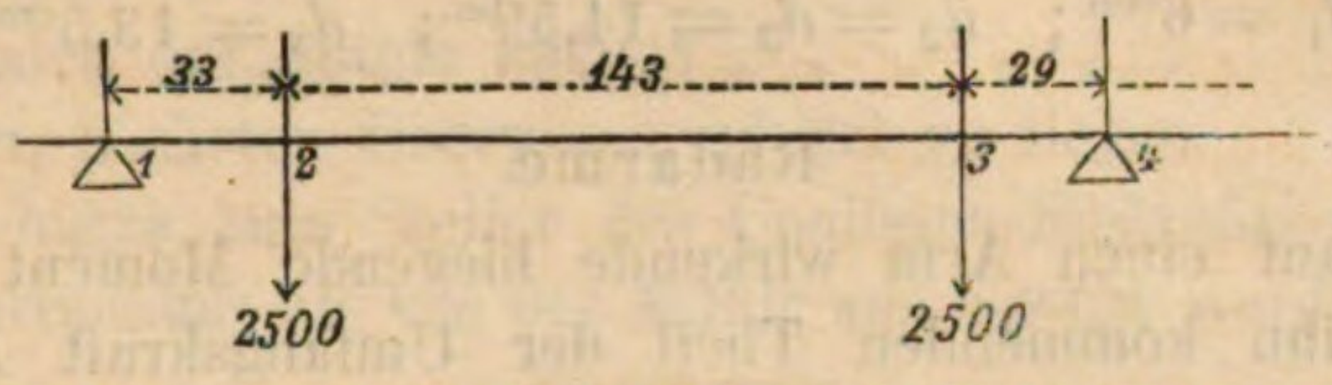
Die Anzahl der Arme eines Armsystems ist

$$\mathfrak{A} = 2\,(R + 1) = 2\,.\,2{,}90 = 6$$

Berechnung der Wasserradwelle.

Das Gewicht des Rades ist angenommen zu 625 klgr. pro Pfdkr.; demnach beträgt das Gesammtgewicht $G = 8\,.\,625 = 5000$ klgr. Dieses Gewicht vertheilt sich gleichmässig auf die Punkte 2 und 3,

welche sich in einer Entfernung von 33 ctm. und 29 ctm. von den Zapfenmitten 1 und 4 der Welle befinden.



Von Punkt 2 an ist die Welle auf Torsion beansprucht.

Die Durchmesser der Welle bestimmen sich folgender Maassen:

Bei 1 beträgt die Belastung P_1 . . . . ca. 2500 klgr.

Der Durchmesser wird daher

$$d_1 = 0{,}12 \,.\, \sqrt{P_1} = 0{,}12 \,.\, \sqrt{2500} = 6 \text{ ctm.}$$

Länge des Zapfens . . . . . $l_1 = 1{,}5\, d_1 = 9$ „

Bei 2 herrscht ein biegendes Moment

$$M_b = \text{ca. } 2500 \,.\, 33 = 82500 \text{ klgrctm.}$$

und ein verdrehendes Moment

$$M_d = 71620 \cdot \frac{\frac{1}{2} N}{n} = 71620 \cdot \frac{4}{11} = 26044 \text{ „}$$

woraus ein combinirtes Moment entsteht

$$M_c = M_b + \frac{1}{4} M_d = 82500 + 6511 = 89011 \text{ „}$$

Der Durchmesser an dieser Stelle wird

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{32 \,.\, M_c}{\pi \,.\, k}} = \sqrt[3]{\frac{32 \,.\, 89011}{3{,}14 \,.\, 368}} = 13{,}5 \text{ ctm.}$$

Bei 3 herrscht ein biegendes Moment

$$M_b = \text{ca. } 2500 \,.\, 29 = 72500 \text{ klgrctm.}$$

und ein verdrehendes Moment

$$M_d = 71620 \cdot \frac{N}{n} = 71620 \cdot \frac{8}{11} = 52088 \text{ „}$$

dadurch erhält man ein combinirtes Moment

$$M_c = M_b + \frac{1}{4} M_d = 72500 + 13022 = 85522 \text{ „}$$

Der Durchmesser an dieser Stelle wird

$$d_3 = \sqrt[3]{\frac{32 \,.\, Mc}{\pi \,.\, k}} = \sqrt[3]{\frac{32 \,.\, 85522}{3{,}14 \,.\, 368}} = 13{,}4 \text{ ctm.}$$

Bei 4 ergibt sich wieder ein schwächerer Durchmesser; wegen praktischer Ausführung macht man aber die Welle gleich stark, und gibt an den Stellen 2 und 3, wo die Rosetten aufgesetzt

werden, noch einen Zuschlag von 1 ctm, so dass die Welle folgende Durchmesser erhält:

$$d_1 = 6^{\text{ctm.}}; \quad d_2 = d_3 = 14{,}5^{\text{ctm.}}; \quad d_4 = 13{,}5^{\text{ctm.}}$$

Radarme.

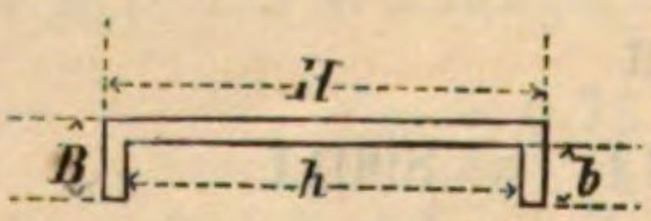
Das auf einen Arm wirkende biegende Moment ist gleich dem auf ihn kommenden Theil der Umfangskraft P mal der Länge des Armes, also annähernd $= P \,.\, R$.

Bezeichnet N_1 die Anzahl der Pferdekräfte, welche ein Armsystem zu übertragen hat, n die Anzahl der Umdrehungen des Rades, $\mathfrak{N}$ die Anzahl der Arme eines Systems, so ist das biegende Moment von einem Betrage

$$P \,.\, R = 71620 \cdot \frac{N_1}{n \,.\, \mathfrak{N}} = 71620 \cdot \frac{4}{11 \,.\, 6} = 4340 \text{ klgrctm.}$$

Ist P_1 das auf ein Armsystem kommende Gewicht, so beträgt ausserdem die Maximalanstrengung G eines Armes auf Zug oder Druck:

$$G = \frac{2 \,.\, P_1}{\mathfrak{N}} = \frac{2 \,.\, 2500}{6} = 833 \text{ klgr.}$$



Nimmt man, wie verlangt ist, für die Arme einen Querschnitt nach Figur 6, so ergibt sich bei Annahme von $H = 15$ ctm.; $b = 3{,}3$ ctm. und einer Eisenstärke von 0,7 ctm. ein Profil, welches der Rechnung gemäss zu stark ist; dasselbe soll jedoch beibehalten werden, um die Steifigkeit des Rades zu vermehren, zu welchem Zwecke noch Diagonalstangen von 3 ctm. Durchmesser dienen.

Zum Betriebe der Werkstätte ist eine doppelte Räderübersetzung angewendet, und zwar 3 : 1 und 8 : 3. Das grösste Rad erhält Holzzähne.

T. Drayer.

Eisernes Schaufelrad mit Coulissen-Einlauf.

(Blatt 4 und 5.)

Die Wassermenge schwankt zwischen

$Q = 0{,}720$ cbmtr. und 1,080 cbmtr. pro Sec.

Schwankung des Unterwasserspiegels . . ca. 0,15 mtr.

Bei grösstem Wasserzufluss (höchstem Wasserstand) beträgt das Nutzgefälle $H = 3{,}45$ mtr.

Das Rad wird ganz in Eisen construirt und erhält einen einseitigen Zahnkranz mit innerer Verzahnung.

Die erste horizontale Transmissionswelle soll . . . 30 Touren pro Minute machen.

Der Fussboden der Mühle kommt . . . . . 1,20 mtr. unter den höchsten Oberwasserspiegel zu liegen.

Die Schütze zum Stellen des Coulissen-Einlaufes soll sowohl vom Wasserradhaus als von der Mühle aus bewegt werden können.

Berechnung des Wasserrades.

Es ergibt sich der absolute Effect der Wasserkraft in Pferdestärken im Maximum:

$$N_{o\,max} = \frac{1000 \,.\, Q_{max}\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 1{,}08 \,.\, 3{,}45}{75} = 49{,}7 \quad \text{Pfdkr.}$$

im Minimum:

$$N_{o\,min} = \frac{1000 \,.\, Q_{min}\,(H - 0{,}15)}{75} = \frac{1000 \,.\, 0{,}72 \,.\, 3{,}3}{75} = 31{,}7 \quad \text{„}$$

Veranschlagt man den Wirkungsgrad des Rades zu . . . . . $\eta = 0{,}65$

so ergibt sich der Nutzeffect des Rades

im Maximum:

$$N_{max} = \eta \,.\, N_{o\,max} = 0{,}65 \,.\, 49{,}7 \,.\, . \,.\, = 32{,}3 \quad \text{„}$$

im Minimum:

$$N_{min} = \eta \,.\, N_{o\,min} = 0{,}65 \,.\, 31{,}7 \,.\, . \,.\, = 20{,}6 \quad \text{„}$$

Es sei nun angenommen:

Der Halbmesser des Rades zu . $R = H = 3{,}45$ mtr.

Die Umfangsgeschwindigkeit . . . $v = 1{,}5$ mtr. pro Sec.

Der Füllungsgrad . . . . . $\varepsilon = 0{,}5$

Für die folgende Berechung sei gesetzt:

Die Wassermenge im Mittel . . . $Q_m = 0{,}9$ cbmtr.

Der absolute Effect im Mittel

$$N_m = \frac{1000 \,.\, 0{,}9 \,.\, 3{,}45}{75} = 41{,}4 \quad \text{Pfdkr.}$$

Die beiden Dimensionen des Radkranzes a und b finden sich aus den Gleichungen

$$a \,.\, b = \frac{Q}{\varepsilon \,.\, v} \text{ und } \frac{b}{a} = 1{,}75 \cdot \sqrt[3]{N_m}$$

indem man setzt $a \,.\, b = \frac{0{,}9}{0{,}5 \,.\, 1{,}5} \,.\, . = 1{,}2$

und $\frac{b}{a} = 1{,}75 \,.\, \sqrt[3]{41{,}4} \,.\, . = 6{,}055$

Somit ergibt sich
die Breite des Rades . . . . . b = 2,695 mtr.
die Tiefe desselben . . . . . a = 0,445 „

Annähernd ist
die Theilung des Rades $(e) = 0{,}2 + 0{,}7\,a$ = (0,5115) „

Die Schaufelzahl $(z) = \frac{2R.\pi}{(e)} = \frac{2\,.\,3{,}45\,.\,3{,}14}{(0{,}5115)}$ = ∼ (43)

Die Anzahl der Arme wird $\mathfrak{N} = 2\,(R + 1)$ = 8

Da nun die Schaufelzahl durch die Armzahl theilbar sein muss, setze man die
Schaufelzahl . . . . . z = 40
wodurch sich eine corrigirte Theilung
ergibt $e = \frac{2\,.\,3{,}45\,.\,3{,}14}{40}$ . . . . . = 0,5417 „

Anzahl der Umdrehungen des Rades pro
Minute $n = \frac{60\,.\,v}{2\,\pi\,.\,R} = \frac{60\,.\,1{,}5}{2\,.\,3{,}14\,.\,3{,}45}$ . . = ∼ 4

Der Spielraum zwischen Rad und Gerinne
sei angenommen zu . . . . . σ = 0,015 „

Berechnung des Coulisseneinlaufes.

Die Coulisseneinläufe sind als Kreise construirt,
deren Radius ist $r = 0{,}9\,.\,a = 0{,}9\,.\,0{,}445$ . . = 0,4 mtr.
Der Abstand zweier Coulissen sei angenommen zu s = 0,08 „
Wählt man die Zuflussgeschwindigkeit des Wassers
$u = 1{,}5\,v$ = 2,25 „
so ergibt sich die Höhe h_1 des obersten Coulisseneinlaufs unter dem Oberwasserspiegel (nach Grashof) aus der Gleichung $u = \varphi \cdot \sqrt{2\,g\,h}$:

$$h_1 = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{u^2}{2\,g} = \frac{1}{0{,}96^2} \cdot \frac{2{,}25^2}{2\,.\,9{,}81} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}28 \text{ „}$$

Der Winkel, unter welchem die erste Coulissenschaufel die Peripherie des Rades schneidet, sei
angenommen zu . . . . . δ = 36°
Die Breite des Coulisseneinlaufes ist
$b_1 = b - 0{,}1$ mtr. = 2,695 — 0,1 = 2,595 „

Bezeichnet q_1, q_2, q_3, q_4 das Wasserquantum, welches durch die einzelnen Coulissen fliesst, b_1 die Breite des Coulisseneinlaufes, s den Abstand zweier Coulissen, h_1, h_2, h_3, h_4 die Höhen der einzelnen Coulissen unter dem Oberwasserspiegel (aus der Construc-

tion der Coulissen), p einen Ausflusscoefficienten $= 0{,}6$, so findet sich das Wasserquantum, welches durch die erste Coulisse fliesst,

$$q_1 = p \,.\, b_1 \,.\, s \,.\, \sqrt{2gh_1} = 0{,}6 \,.\, 2{,}595 \,.\, 0{,}08 \,.\, \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}28} = 0{,}291 \text{ cbmtr.}$$

ebenso findet sich

$$q_2 = p \,.\, b_1 \,.\, s \,.\, \sqrt{2gh_2} = 0{,}6 \,.\, 2{,}595 \,.\, 0{,}08 \,.\, \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}39} = 0{,}342 \text{ „}$$

$$q_3 = p \,.\, b_1 \,.\, s \,.\, \sqrt{2gh_3} = 0{,}6 \,.\, 2{,}595 \,.\, 0{,}08 \,.\, \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}51} = 0{,}391 \text{ „}$$

$$q_4 = p \,.\, b_1 \,.\, s \,.\, \sqrt{2gh_4} = 0{,}6 \,.\, 2{,}595 \,.\, 0{,}08 \,.\, \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}62} = 0{,}431 \text{ „}$$

Da nun $Q = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 = 1{,}455$ cbmtr. wird, und das Wasserquantum im Maximum nur $Q_{max} = 1{,}08$ cbmtr. beträgt, so sieht man, dass diese 4 Coulisseneinläufe vollständig ausreichend sind.

Die Stärke der Radschaufeln und Coulissenschaufeln sei angenommen zu . . . . . 0,005 mtr.

Berechnung des Zahnkranzes und des Getriebes.

Der Theilkreishalbmesser des Zahnkranzes sei angenommen zu

$$R_1 = 2{,}805 \text{ mtr.}$$

Es findet sich jetzt der Zahndruck $P_1 = \frac{P \,.\, R}{R_1}$

wenn P die Kraft am Radumfange bezeichnet.

Nun ist aber $P \,.\, v = 75\, N$ und $v = \frac{2\pi \,.\, R \,.\, n}{60}$

mithin ergibt sich der Zahndruck aus der Gleichung:

$$P_1 = \frac{75 \,.\, 60}{2\pi} \cdot \frac{N}{n \,.\, R_1}$$

Wirkt diese Kraft am Ende eines Zahnes, so ist das Moment,

$$P_1 \,.\, \gamma = \frac{1}{6} \beta \,.\, \alpha^2 \,.\, k$$

Hieraus bestimmt sich die Zahndicke $\alpha = \sqrt{\frac{6 \,.\, P_1 \,.\, \gamma}{\beta \,.\, k}}$

Wählt man die Zahnbreite $\beta = 5{,}5 \,.\, \alpha$, die Zahnhöhe $\gamma = 1{,}5\, \alpha$ und den Festigkeitscoefficienten $k = 200$ klgr. pro □ctm.,

so erhält man mit diesen Annahmen eine Zahndicke

$$(\alpha) = \sqrt{\frac{6 \,.\, 75 \,.\, 60 \,.\, 1{,}5}{2\pi \,.\, 200 \,.\, 5{,}5}} \cdot \sqrt{\frac{N}{n R_1}} = 2{,}3 \cdot \sqrt{\frac{32{,}3}{4 \,.\, 2{,}805}} = (3{,}90) \text{ ctm.}$$

Die Zahntheilung wird . . . . . $(t) = 2{,}1\, \alpha = (8{,}19)$ „

somit findet sich die Zähnezahl $Z = \frac{2 R_1 \pi}{(t)} = \frac{2 \,.\, 280{,}5 \,.\, 3{,}14}{(8{,}19)} = \sim 216$

Darnach ändert sich die Theilung

$$t = \frac{2 R_1 \pi}{Z} = \frac{2 \,.\, 280{,}5 \,.\, 3{,}14}{216} = 8{,}11 \text{ ctm.}$$

es wird die Zahndicke $\alpha = \frac{t}{2,1} = \frac{8,11}{2,1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = 3,9$ ctm.

die Zahnbreite $\beta = 5,5 \,.\, \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = \sim 22$ „

die Zahnhöhe $\gamma = 1,5 \,.\, \alpha \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = 5,8$ „

Die Transmissionswelle soll der Aufgabe gemäss 30 Touren pro Minute machen, somit erhält man eine Uebersetzung . . . . . $i = \frac{4}{30} = 0,133$

Die Zähnezahl des Getriebes wird daher

$$z = Z \,.\, i = 216 \,.\, 0,133 \quad = \sim 30$$

Der Halbmesser des Getriebes ist $r = \frac{z \,.\, t}{2\pi} = \frac{30 \,.\, 8,11}{2 \,.\, 3,14} = 38,7$ ctm.

Durchmesser der Transmissionswelle

$$d = 12 \,.\, \sqrt[3]{\frac{N}{n}} = 12 \,.\, \sqrt[3]{\frac{32,3}{30}} = 12,2 \quad „$$

Anzahl der Arme des Getriebes $\mathfrak{A} = \frac{r}{d} = \frac{38,7}{12,2} \quad . \quad . \quad . \quad = \quad 4$

Breite der Arme $h = t \,.\, 0,8 \,.\, \sqrt[3]{\frac{2}{\mathfrak{A}}} = 8,11 \,.\, 0,8 \,.\, \sqrt[3]{\frac{30}{4}} = 12,7$ „

Berechnung der Zapfen der Wasserradwelle.

Das Gewicht des Rades betrage 600 klgr. pro Pfdkr., somit ist annähernd das Gesammtgewicht des Rades

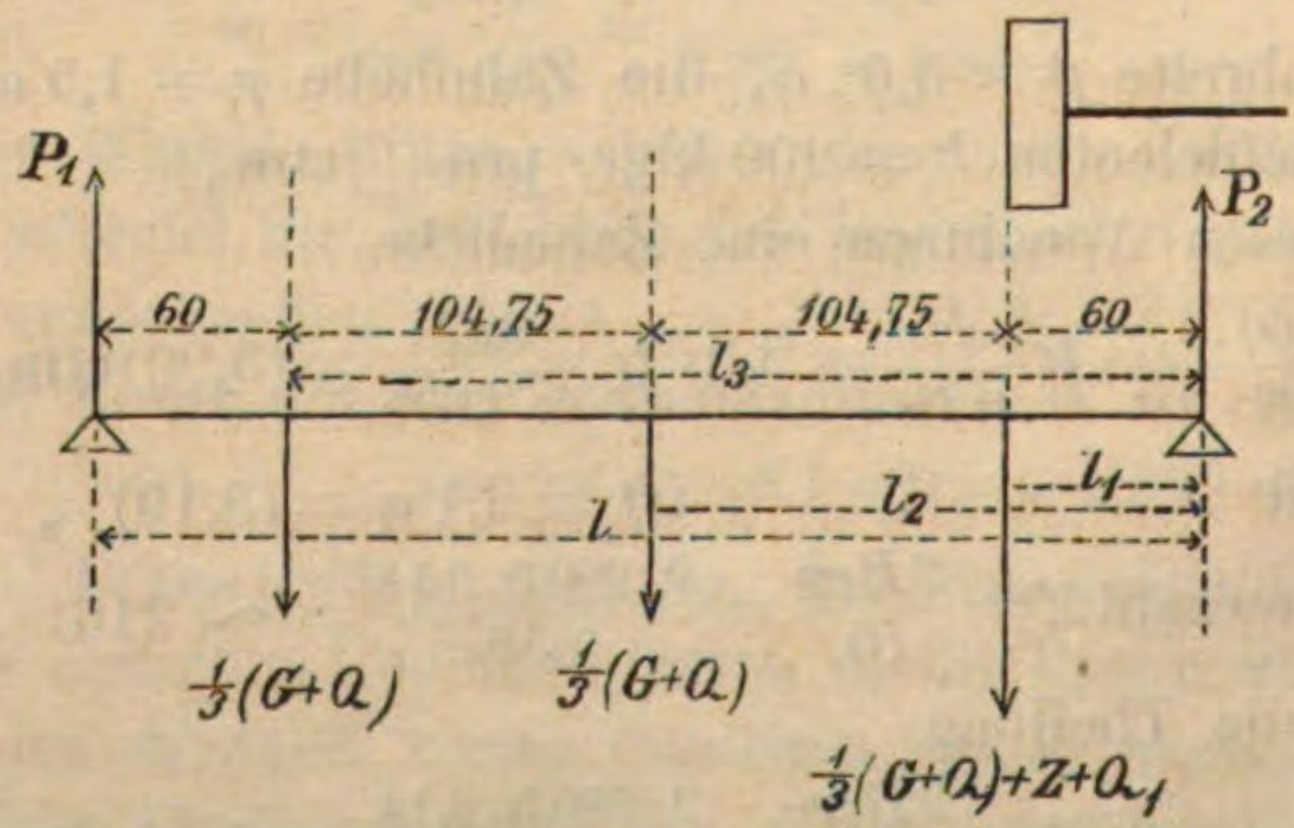
$$G = 600 \,.\, N_m \,.\, \eta = 600 \,.\, 41,4 \,.\, 0,65 \quad . \quad . \quad = \sim 16200 \text{ klgr.}$$

Das Gewicht des Zahnkranzes sei . . . . $Z = \sim 2500$ „

Der Zahndruck

$$Q_1 = 71620 \cdot \frac{N_{max}}{n \, R_1} = 71620 \cdot \frac{32,3}{4 \,.\, 280,5} \quad . \quad . \quad = \sim 2000 \quad „$$

Das Gewicht der Wasserfüllung sei gesetzt $Q = Q_1 = \sim 2000$ „



Es sei hier der ungünstigere Fall angenommen, dass das Triebrad auf der leeren Seite des Rades liegt, da es sich für die Construction besser macht.

Bei Annahme von 3 Armsystemen findet sich der Druck

$$P_1 = \frac{\left\{\frac{1}{3}(G+Q)+3+Q_1\right\}.\, l_1 + \frac{1}{3}(G+Q).\, l_2 + \frac{1}{3}(G+Q)\, l_3}{l}$$

Ausserdem ist $P_1 + P_2 = G + 3 + 2\,Q_1$

In diese Gleichungen die entsprechenden Werthe eingesetzt liefert

$$P_1 = \frac{\left\{\frac{1}{3}(16200+2000)+2500+2000\right\}.\,60 + \frac{1}{3}(16200+2000)\,(164{,}75+269{,}5)}{329{,}5}$$

$$P_1 = 9920 \text{ klgr.}$$

und $P_2 = G + 3 + 2\,Q_1 - P_1 = 16200 + 2500 + 4000 - 9920$

$= 12780$ klgr.

Wählt man als Material für die Welle Schmiedeeisen, so findet sich der Zapfendurchmesser

$$d_1 = 0{,}12\,.\sqrt{P_1} = 0{,}12\,.\sqrt{9920} = 11{,}9 \text{ ctm.}$$

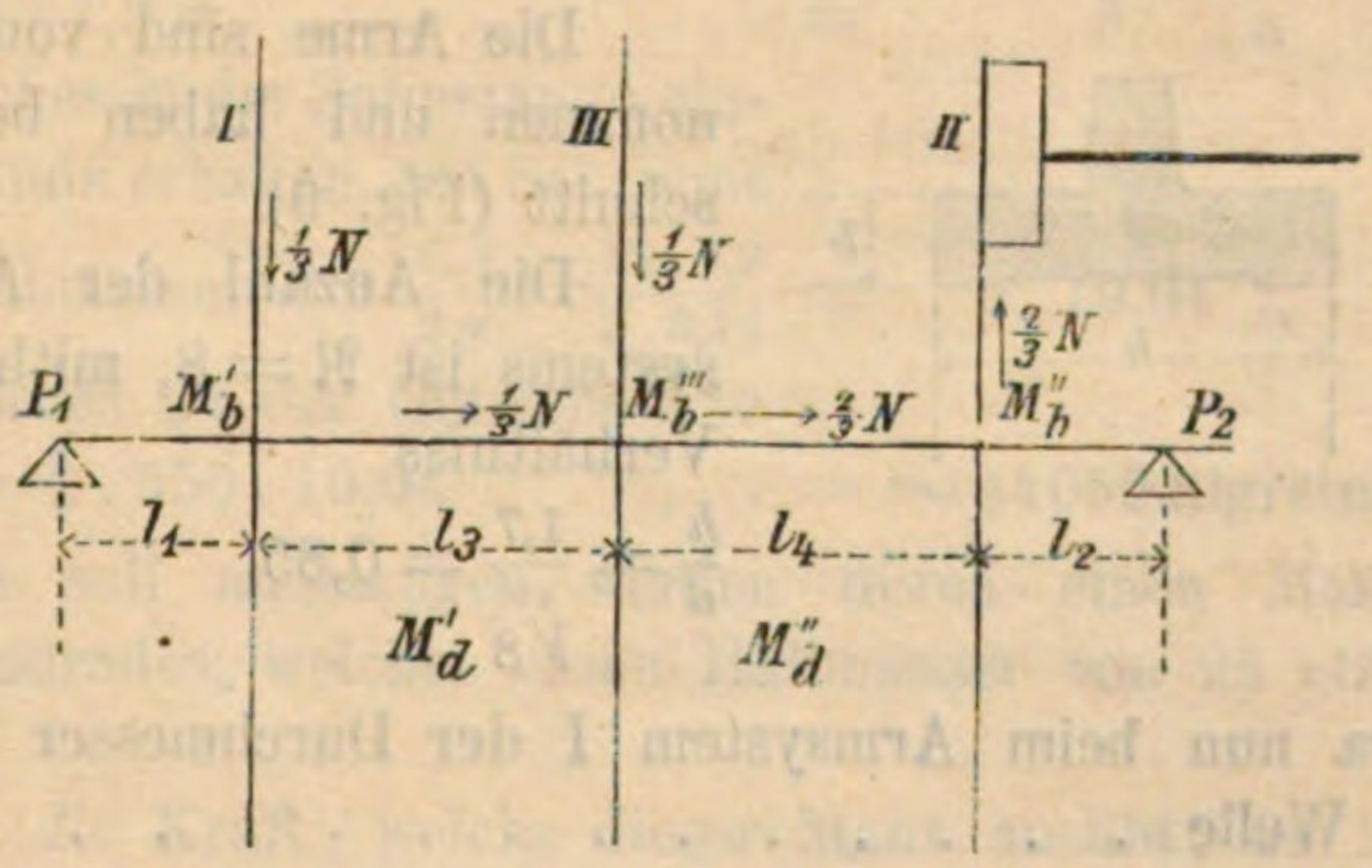
Länge des Zapfens $l_1 = 1{,}5\,.\,d_1 = 1{,}5\,.\,11{,}9\;\;.\;\;. = 17{,}8$ „

der Zapfendurchmesser $d_2 = 0{,}12\,.\sqrt{P_2} = 0{,}12\,.\sqrt{12780} = 13{,}7$ „

Länge des Zapfens $l_2 = 1{,}5\,.\,d_2 = 1{,}5\,.\,13{,}7\;\;.\;\;. = 20{,}6$ „

Berechnung der Welle.

Die ganze Welle ist auf Biegung beansprucht und ausserdem die beiden Strecken l_3 und l_4 noch auf Torsion.



Man erhält folgende Biegungsmomente:

$M'_b = P_1\,.\,l_1 = \;\; 9920\,.\,60 = 595200$ klgrctm.

$M''_b = P_2\,.\,l_2 = 12780\,.\,60 = 766800$ „

$M'''_b = P_1\,(l_1 + l_3) - \frac{1}{3}\,(G+Q)\,.\,l_3$

$= 9920\,.\,164{,}75 - 6067\,.\,104{,}75 = 998800$ klgrctm.

Ausserdem erhält man noch die verdrehenden Momente:

$$M'_d = 71620 \cdot \frac{\frac{1}{3}N}{n} = 71620 \cdot \frac{10{,}8}{4} = 192374 \text{ klgrctm.}$$

$$M''_d = M'''_d = 71620 \cdot \frac{\frac{2}{3}N}{n} = 71620 \cdot \frac{21{,}6}{4} = 386748 \text{ klgrctm.}$$

Dadurch ergeben sich jetzt die combinirten Momente:

$$M'_c = M'_b + \frac{1}{4} M'_d = 595200 + 48093 = 643293 \text{ klgrctm.}$$

$$M''_c = M''_b + \frac{1}{4} M''_d = 766800 + 96687 = 863487 \quad \text{„}$$

$$M'''_c = M'''_b + \frac{1}{4} M'''_d = 998800 + 96687 = 1095487 \quad \text{„}$$

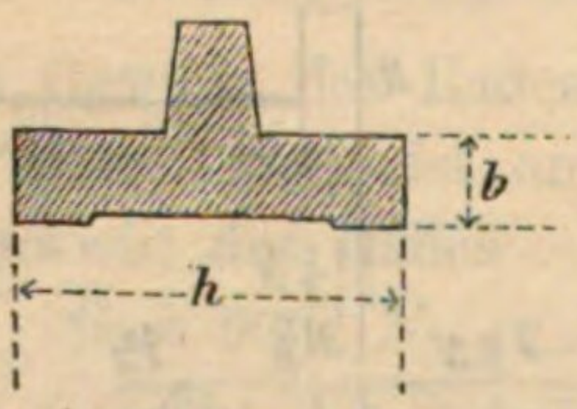
Die Durchmesser der Welle an diesen 3 Stellen (Fig. 8) ergeben sich nun, wenn der Festigkeitscoefficient $k = 400$ klgr. pro □ ctm. gesetzt wird, folgender Maassen:

$$d' = \sqrt[3]{\frac{M'c}{40}} = \sqrt[3]{\frac{643293}{40}} = 25{,}2 \text{ ctm.}$$

$$d'' = \sqrt[3]{\frac{M''c}{40}} = \sqrt[3]{\frac{863487}{40}} = 27{,}9 \quad \text{„}$$

$$d''' = \sqrt[3]{\frac{M'''c}{40}} = \sqrt[3]{\frac{1095487}{40}} = 30{,}1 \quad \text{„}$$

Berechnung der Radarme.



Die Arme sind von Gusseisen angenommen und haben beistehenden Querschnitt (Fig. 9).

Die Anzahl der Arme eines Armsystems ist $\mathfrak{N} = 8$, mithin findet sich das Verhältniss

$$\frac{h}{d} = \frac{1{,}7}{\sqrt[3]{8}} = 0{,}85.$$

Da nun beim Armsystem I der Durchmesser der
Welle . . . . . $d' = 25{,}2$ ctm.
ist, so wird hier die Höhe $h' = 0{,}85 \,.\, 25{,}2 \;.\;. = \sim 21$ ctm.
die Breite $b' = \frac{1}{5} h' \;.\;.\;.\;. = 4{,}2$ ctm.

An den beiden übrigen Armsystemen II und III sei im Mittel angenommen der Durchmesser der Welle $d_m = 28$ ctm., folglich ergibt sich hier die Höhe

$h'' = h''' = 0{,}85 \,.\, 28 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. = \sim 23$ ctm.

die Breite $b'' = b''' = \frac{1}{5} h'' \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. = \sim 5$ ctm.

Gegen den Radumfang hin lässt man die Arme etwa auf $\frac{3}{4}$ ihrer Höhe abnehmen.

Berechnung des Schleusenaufzugs für den Coulisseneinlauf.

Das Gewicht der Schütze sei angenommen zu g = 210 klgr.
Der Wasserdruck auf dieselbe beträgt . . ca. 1500 „
Wählt man einen Reibungscoefficienten . p = 0,6
so ergibt sich der Widerstand, welcher sich dem Heben der Schleuse entgegenstellt
zu $1500 \,.\, 0{,}6$ . . . . . = 900 klgr.
Mithin ist der Gesammtwiderstand $900 + 210 = \sim$ 1100 klgr.
Der Aufzug der Schleuse erfolgt mittelst zweier Zahnstangen und Getriebe, somit hat eine Zahnstange einen Widerstand auszuhalten . . . . . P = 550 klgr.
Dadurch ergibt sich die Theilung der Zahnstange $t = 0{,}178 \,.\, \sqrt{550}$ . . . . . = 4,2 ctm.

Die Zahndicke $\alpha = \frac{t}{2{,}1} = \frac{4{,}2}{2{,}1}$ . . . . . = 2 „
Zahnbreite $\beta = 4 \,.\, \alpha$ . . . . . = 8 „
Zahnhöhe $\gamma = 1{,}5\,\alpha$ . . . . . = 3 „

Das Getriebe, welches in die Zahnstange eingreift, soll 15 Zähne erhalten, und bekommt daher einen Halbmesser $r = \frac{z \,.\, t}{2\pi} = \frac{15 \,.\, 4{,}2}{2 \,.\, 3{,}14}$ = 10,04 „

Das Moment, welches an der Getriebe-Axe wirkt, ist $M_2 = 2 \,.\, 550 \,.\, 10{,}04$ . . . . = $\sim$ 11050 klgrctm.

Die Schleuse soll aufgezogen werden durch einen Mann mittelst eines Handrades, welches einen Halbmesser von 25 ctm. besitzt.

Rechnet man die Kraft, welche dieser Mann ausübt, zu 18 klgr., so ergibt sich ein Moment $M_1 = 18 \,.\, 25 = 450$ klgrctm.
Die Zähnezahl des Schraubenrades sei . . . . $z_2 = 38$

es ergibt sich eine Theilung $t = 0{,}58 \,.\, \sqrt{\frac{11050}{38}}$. = 3,84 ctm.

Der Halbmesser des Schraubenrades wird

$$R = \frac{z_2 \,.\, t}{2\pi} = \frac{38 \,.\, 3{,}84}{2 \,.\, 3{,}14} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 23{,}23 \text{ „}$$

Ferner ergibt sich der Halbmesser der Schraube ohne Ende, wenn α der Steigungswinkel der Schraube ist

$$r_1 = R \cdot \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{1}{\mathrm{tg} \,.\, \alpha} = 23{,}23 \cdot \frac{1}{38} \cdot \frac{1}{0{,}1} \quad . \quad . = 6{,}11 \text{ „}$$

Der Durchmesser der Axen wird

$$d_2 = 0{,}29 \,.\, \sqrt[3]{M_2} = 0{,}29 \,.\, \sqrt[3]{11050} \;.\;.\;. = 6{,}4 \text{ ctm.}$$

$$d_1 = 0{,}29 \,.\, \sqrt[3]{M_1} = 0{,}29 \,.\, \sqrt[3]{450} \;.\;.\;.\;. = 2{,}2 \text{ „}$$

wofür man aus praktischen Rücksichten setzt . $d_1 = \sim 4$ „

R. Bertalot.

Eisernes oberschlächtiges Wasserrad. (Blatt 6 u. 7.)

Die disponible Wassermenge ist etwas veränderlich und beträgt im Maximum . . . $Q_{max} = 0{,}45$ cbmtr. pro Sec.
im Minimum . . . $Q_{min} = 0{,}30$ cbmtr. pro Sec.

Die grösste Schwankung im Stande des Unterwassers beträgt . . . . . ca. $= 0{,}12$ mtr.

Bei grösstem Wasserzufluss (höchsten Wasserständen) ist das Nutzgefälle . . . $H = 8{,}00$ mtr.

Das Rad erhält einen Zahnkranz und soll ganz in Eisen ausgeführt werden.

Die Arme sind aus ⌊—⌋ Eisen zu machen.

Die zunächst anzutreibende Horizontal-Transmission soll 30 Touren pro Minute machen.

Die Regulirschütze soll von dem unteren Stockwerk des Fabrikgebäudes aus gestellt werden können.

Der Fussboden daselbst kommt . . . . . 4 mtr. unter den Oberwasserspiegel zu liegen.

Berechnung.

Wir nehmen die Umfangsgeschwindigkeit des Rades . . . . . $v = 1{,}5$ mtr. pro Sec.
und den Wirkungsgrad . . . . . $\eta = 0{,}75$
an. Hieraus ergeben sich die Pferdekräfte des Wasserrades im Maximum

$$N_{max} = \frac{\eta \,.\, 1000 \,.\, Q_{max} \,.\, H}{75} = \frac{0{,}75 \,.\, 1000 \,.\, 0{,}45 \,.\, 8}{75} = 36 \text{ Pfdkr.}$$

im Minimum

$$N_{min} = \frac{\eta \,.\, 1000 \,.\, Q_{min} \,.\, H}{75} = \frac{0{,}75 \,.\, 1000 \,.\, 0{,}30 \,.\, 8}{75} = 24 \text{ Pfdkr.}$$

Unter der Voraussetzung, dass das Wasser im Scheitel eintritt mit einer Geschwindigkeit gleich der doppelten Umfangsgeschwindigkeit findet sich der Halbmesser des Rades mittelst der Gleichung

$$R = \frac{1}{2}\left(H - \frac{4 \,.\, v^2}{2\,g}\right) = \frac{1}{2}\left(8{,}00 - \frac{4 \,.\, 1{,}5^2}{2 \,.\, 9{,}81}\right) = \sim 3{,}77 \text{ mtr.}$$

Die Dimensionen a und b des Rades finden sich aus den Gleichungen:

$$a \,.\, b = \frac{Q}{\varepsilon \,.\, v} \text{ und } \frac{b}{a} = 2{,}25 \cdot \sqrt[3]{N_o}$$

Dabei ist angenommen der Füllungsgrad . . $\varepsilon = \frac{1}{4}$

und der absolute Effect

$$N_0 = \frac{1000 \,.\, Q_{\max} \,.\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 0{,}45 \,.\, 8}{75} = 48 \text{ Pfdkr.}$$

Diese Werthe eingeführt liefern

eine Tiefe . . . . . $a = 0{,}38$ mtr.

und eine Breite . . . . . $b = 3{,}11$ „

Die Theilung des Rades wird

$$(e) = 0{,}7 \,.\, a + 0{,}2 = 0{,}7 \,.\, 0{,}38 + 0{,}2 = (0{,}466 \text{ mtr.})$$

Die Anzahl der Schaufeln wird

$$z = \frac{2\,R \,.\, \pi}{(e)} = \frac{2 \,.\, 3{,}77 \,.\, 3{,}14}{(0{,}466)} = \sim 50$$

Darnach ändert sich die Theilung

$$e = \frac{2\,R \,.\, \pi}{z} = \frac{2 \,.\, 3{,}77 \,.\, 3{,}14}{50} = 0{,}4735 \text{ mtr.}$$

Die Umdrehungszahl des Rades wird

$$n = 9{,}55 \cdot \frac{v}{R} = 9{,}55 \cdot \frac{1{,}5}{3{,}77} = 3{,}8$$

Berechnung der gusseisernen Welle.

Nimmt man an das Gewicht des Rades

$$G = 600\, N_{\max} = 600 \,.\, 36 = 21600 \text{ klgr.}$$

so erhält man für den Zapfen der Welle einen

Durchmesser $d = 0{,}18 \sqrt{\frac{G}{2}} = 0{,}18 \sqrt{10800} = \sim 19$ ctm.

Die Welle wird aber hohl ausgeführt und erhält

einen äusseren Durchmesser . . . . . $d_a = 20$ ctm.

und einen inneren Durchmesser . . . . . $d_i = 12$ ctm.

Die Stärke, welche die Welle in der Mitte und an den Seiten erhält, berechnet man nach der Formel:

$$d = \sqrt[3]{\frac{\frac{1}{3} G \,.\, m}{30}}$$

wobei m die Entfernung vom Zapfenmittel bedeutet; es ist aber

$$m' = 220 \text{ ctm. und } m'' = 60 \text{ ctm.}$$

Demnach erhält man aus obiger Formel einen

Durchmesser . . . . . $d' = \sim 40$ ctm.

Die Welle erhält sodann in der Mitte einen äusseren

Durchmesser . . . . . $d'_a = 45$ ctm.

und einen innern Durchmesser . . . . . $d'_i = 31$ ctm.

Für den Durchmesser d'' ergibt sich aus obiger

Formel . . . . . $d'' = \sim 25{,}6$ ctm.

Demnach erhält die Welle an den beiden Seiten

einen äusseren Durchmesser . . . . . $d''_a = 31$ ctm.

und einen innern Durchmesser . . . . . $d''_i = 19$ ctm.

Berechnung des Zahnkranzes.

Die Theilung des Zahnkranzes findet sich aus der Gleichung:

$$t = 47{,}72 \cdot \sqrt{\frac{N_{max}}{n} \cdot \frac{1}{R}} = 47{,}72 \cdot \sqrt{\frac{36}{3{,}8} \cdot \frac{1}{3{,}77}} = 7{,}56 \text{ ctm.}$$

Dadurch erhält man eine Zahndicke $\alpha = \frac{t}{2{,}1} = \frac{7{,}56}{2{,}1} = 3{,}6$ „

eine Zahnbreite $\beta = 6 \,.\, \alpha \;.\;.\; = 21{,}6$ „

und eine Zahnhöhe $\gamma = 1{,}5 \,.\, \alpha \;.\; = 5{,}4$ „

Das kleinere Rad soll 30 Touren pro Minute machen,

daher muss es einen Radius erhalten . . . $r = 46{,}7$ „

Berechnung der Arme des Rades.

Wir nehmen 3 Armsysteme an und erhalten

die Anzahl der Arme eines jeden Systems

aus der Gleichung

$$\mathfrak{N} = 2\,(R + 1) = 2 \,.\, 4{,}77 = 9{,}5 \sim 10$$

Der Druck am Umfange des Rades berechnet

sich aus $P = \frac{75 \,.\, N_{max}}{v} = \frac{75 \,.\, 36}{1{,}5} = 1800$ klgr.

Die Länge eines Armes ist . . . . . $l = 300$ ctm.

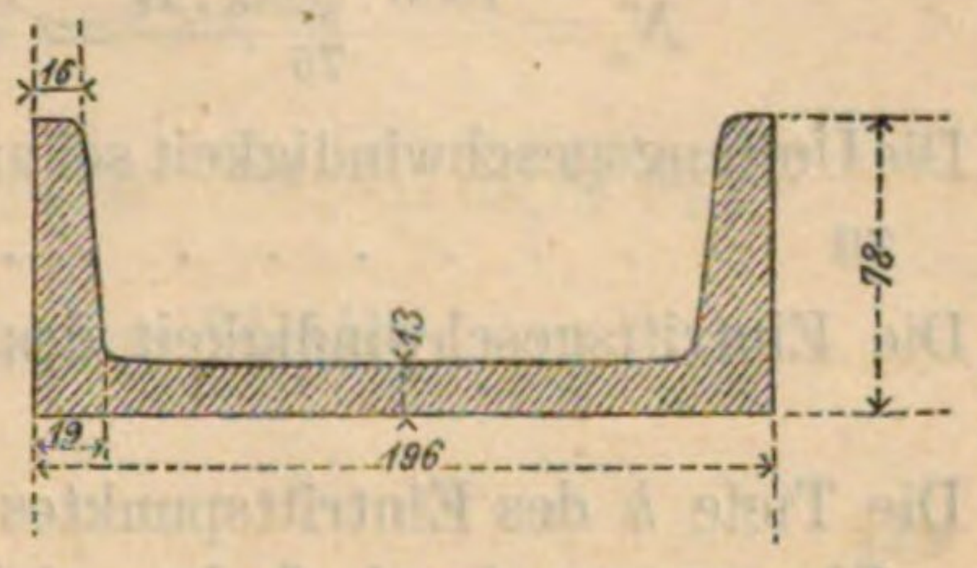
Also beträgt das auf die Arme wirkende Moment

$M = 1800 \,.\, 300$ . . . . . $= 540000$ klgctm.

Somit kommt auf einen Arm ein Moment

$$M_1 = \frac{540000}{10} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = 54000 \text{ klgrctm.}$$

Wir wählen nun ein ⊔förmiges Profil für die Arme und suchen den zugehörigen Festigkeitscoefficienten k.



Beistehendem Profil (Fig. 10) entspricht nun ein Festigkeitscoefficient

$$k = \frac{M}{W} = \frac{54000}{268{,}7} = 201 \text{ klgr. pro } \square \text{ ctm.}$$

Dasselbe bietet mithin genügende Sicherheit.

Charles Scharff.

Eisernes oberschlächtiges Wasserrad zum Betriebe einer Spinnerei. (Blatt 8 und 9.)

Die disponible Betriebswassermenge ist veränderlich und beträgt im Maximum Q_{max} = 700 Liter pro Sec.
im Minimum Q_{min} = 500 Liter pro Sec.

Schwankung des Unterwasserspiegels . . . ca. 0,15 mtr.

Nutzgefälle bei grösstem Wasserzufluss . H = 9,20 mtr.

Das Rad wird nach dem Spannstangensystem construirt und ganz in Eisen ausgeführt. Es erhält einen Zahnkranz und hat die verticale Hauptwelle der Spinnerei anzutreiben, welche pro Minute . . . . . 100 Touren machen soll.

Der Fussboden des untersten Arbeitssaals kommt . . . . . 3,75 mtr.

unter den Oberwasserspiegel zu liegen, und soll der Antrieb der verticalen Welle unter diesen Boden gelegt werden.

Die Regulirschütze soll von dem untern Fabriksraum aus bequem gestellt werden können.

Der ganze Radbau nebst Zwischentransmission wird in einem an die Ecke des Fabrikgebäudes anstossenden Wasserhause untergebracht.

Berechnung des Wasserrades.

Der absolute Effect berechnet sich aus

$$N_o = \frac{1000 \,.\, Q_{max} \,.\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 0{,}7 \,.\, 9{,}20}{75} = 85{,}86 \text{ Pfdkr.}$$

Die Umfangsgeschwindigkeit sei angenommen zu . . . . . $v = 1{,}5$ mtr. pro Sec.

Die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers

$$u = 2\,v = 3{,}0 \text{ „}$$

Die Tiefe h des Eintrittspunktes unter dem Oberwasserspiegel findet sich aus der Gleichung:

$$h = \frac{1}{\varphi^2} \cdot \frac{u^2}{2\,g} = \frac{1}{0{,}97^2} \cdot \frac{3^2}{2 \,.\, 9{,}81} \;.\;. = 0{,}46 \text{ „}$$

Darnach findet sich der Radhalbmesser aus der Gleichung

$$R = \frac{H - h}{1 + \cos \delta} = \frac{9{,}20 - 0{,}46}{1 + \cos 10^0} \;.\;. = 4{,}403 \text{ „}$$

(wobei δ der Bogen ist, unter welchem der Eintrittspunkt des Wassers unter dem Scheitel liegt.)

Die Tourenzahl des Rades pro Minute findet sich aus $n = \frac{30 \,.\, v}{\pi \,.\, R} = \frac{30 \,.\, 1{,}5}{3{,}14 \,.\, 4{,}403} \;.\;.\;.\;. = 3{,}2$

Der Füllungsgrad sei angenommen zu . $\varepsilon = 0{,}3$

Das Verhältniss der Breite b des Rades zur Tiefe a findet sich

$$\frac{b}{a} = 2{,}25 \cdot \sqrt[3]{N_o} = 2{,}25 \cdot \sqrt[3]{85{,}86} = 9{,}9$$

Die Breite des Radkranzes

$$b = \sqrt{\frac{Q}{\varepsilon \,.\, v} \cdot \frac{b}{a}} = \sqrt{\frac{0{,}7}{0{,}3 \,.\, 1{,}5} \cdot 9{,}9} = 3{,}92 \text{ mtr.}$$

Tiefe des Radkranzes $a = \frac{b}{\left(\frac{b}{a}\right)} = \frac{3{,}92}{9{,}9} \;.\;. = 0{,}4$ „

Anzahl der Arme eines Armsystems

$$\mathfrak{A} = 2\,(R + 1) = 2 \,.\, 5{,}403 \;.\;. = 10$$

Die Radtheilung wird vorerst annähernd

$$(e) = 0{,}7\,a + 0{,}2 \;.\;.\;.\;.\;. = (0{,}48 \text{ mtr.})$$

Die Schaufelzahl $z = \frac{2\,\pi\,R}{(e)} = \frac{2 \,.\, 3{,}14 \,.\, 4{,}403}{(0{,}48)} \;.\; = \sim 60$

Folglich erhält man die corrigirte Theilung

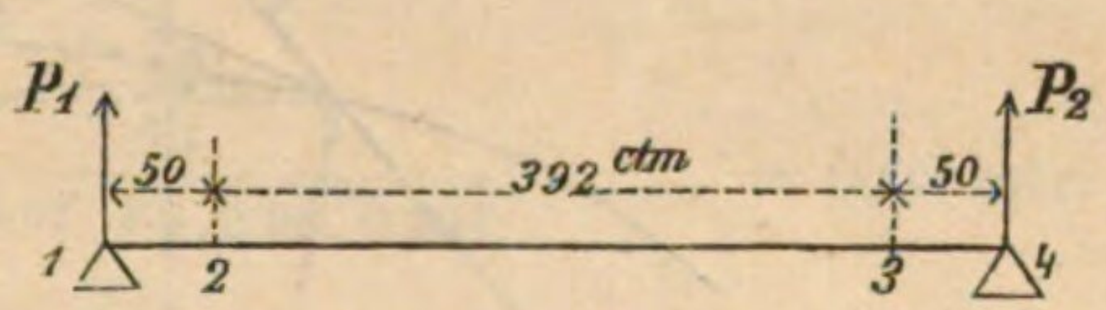
$$e = \frac{2\pi R}{z} = \frac{2 \,.\, 3{,}14 \,.\, 4{,}403}{60} \quad . \quad . \quad . \quad = \quad 0{,}46 \text{ mtr.}$$

Schätzt man den Wirkungsgrad $\eta = 0{,}80$, so erhält man einen Nutzeffect

$$N = \eta \,.\, N_o = 0{,}80 \,.\, 85{,}86 \quad . \quad . \quad = 68{,}67 \text{ Pfdkr.}$$

Berechnung der Welle.

Es sei angenommen das Gewicht des Rades zu 500 klgr. pro Pferdekraft, mithin beträgt das Gesammtgewicht



$$G = 500 \,.\, 68{,}67 = \sim 34400 \text{ klgr.}$$

Legt man das Getriebe auf die Wasserseite, so kann angenommen werden, dass der Zahndruck sich gegen das Gewicht des im Rade befindlichen Wassers aufhebt. Demnach ist der Zapfendruck

$$P_1 = P_2 = \frac{G}{2} = \frac{34400}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = \quad 17200 \text{ klgr.}$$

Die Zapfendurchmesser werden

$$d_1 = d_2 = 0{,}16 \cdot \sqrt{17200} \,. \quad . \quad . \quad . \quad = \sim 22 \text{ ctm.}$$

Die Zapfenlängen $l_1 = l_2 = 1{,}6 \,.\, d_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = \quad 35 \text{ ctm.}$

Ferner hat man folgende Biegungsmomente

$$M_1 = M_2 = P_1 \,.\, 50 = 17200 \,.\, 50 \quad = 860000 \text{ klgrctm.}$$

Demzufolge beträgt der Durchmesser der Welle in der Rosette

$$D_1 = D_2 = \sqrt[3]{\frac{32}{\pi} \cdot \frac{M}{k}} = \sqrt[3]{\frac{32}{3{,}14} \cdot \frac{860000}{250}} = \sim 34 \text{ ctm.}$$

Berechnung der Spannstangen.

Es ist die Anstrengung der Radialstangen

$$S = \frac{4 \cdot \frac{G}{2}}{\mathfrak{N}} = \frac{4 \,.\, 17200}{10} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = \sim 7000 \text{ klgr.}$$

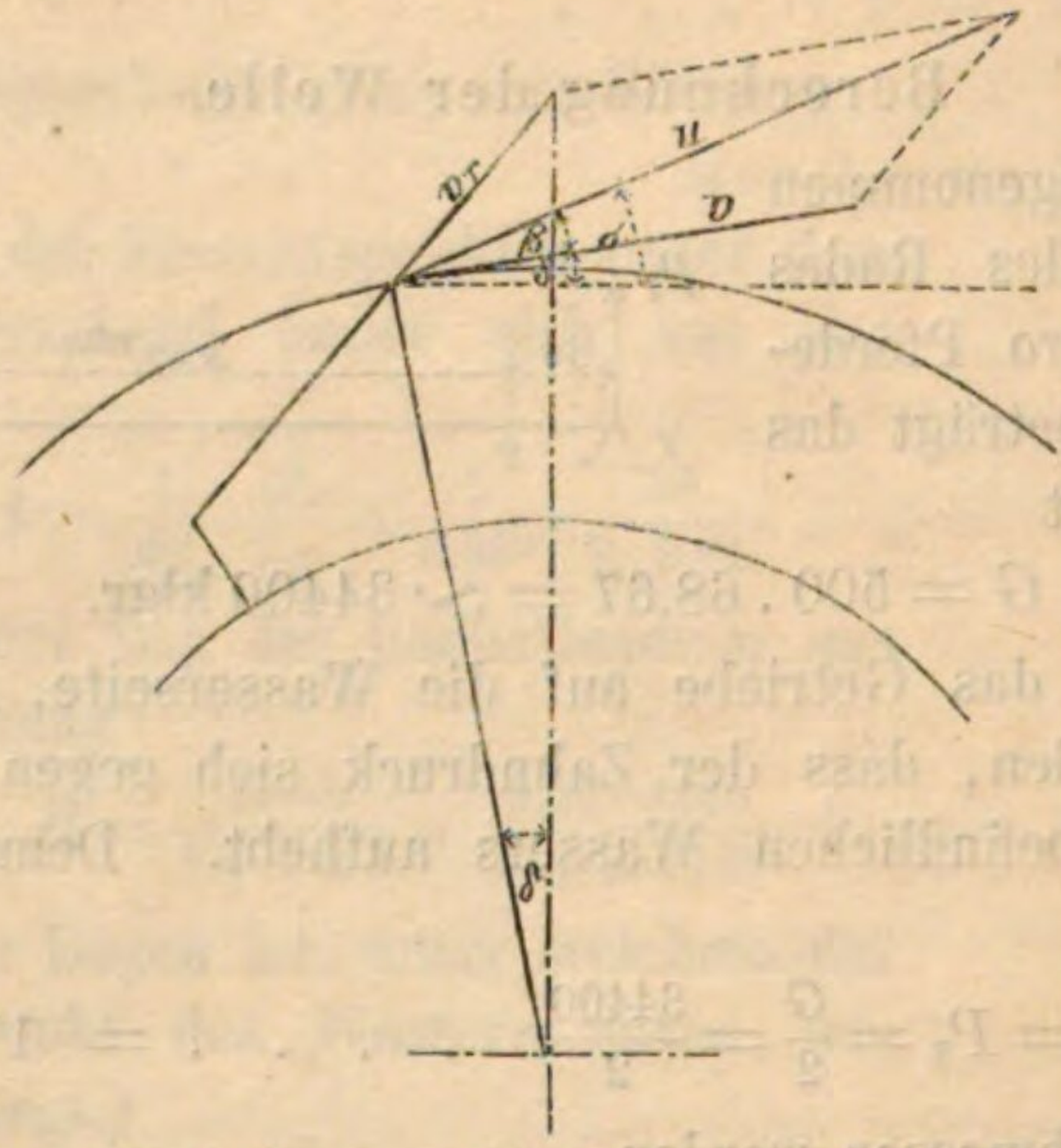
Querschnitt der Stangen $\frac{\pi d^2}{4} = \frac{S}{k} = \frac{7000}{500}$

Daraus findet sich der Durchmesser der Radialstangen $d = \sqrt{\frac{4 \,.\, 7000}{\pi \,.\, 500}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad = \sim \quad 4{,}5 \text{ ctm.}$

Der Durchmesser der Diagonalstangen $= \frac{3}{4} d$. = 3,6 ctm.

Der Durchmesser der Umfangsstangen $= \frac{3}{5} d$. = 2,7 „

Bestimmung des Einlaufs.



Es beträgt der Winkel α, welchen die mittlere Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers mit der Horizontalen bildet (Fig 12.):

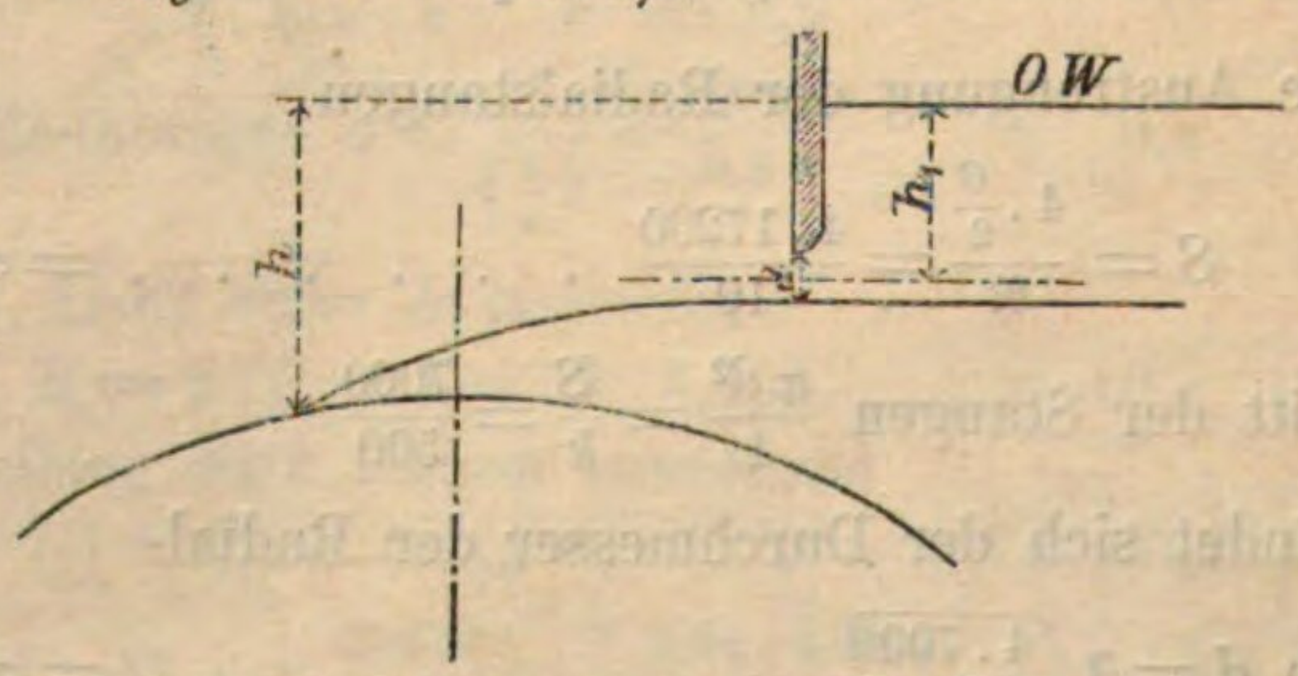
$$\alpha = \delta + \beta = 10° + 5° \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 15°$$

Die Einlaufcurve besteht aus einer Parabel (Fig. 13), deren Abscisse ist

$$x = \frac{u^2}{2g} \cdot \sin 2\alpha = \frac{3^2}{2 \,.\, 9{,}81} \cdot \sin 30° \quad . \quad . \quad . = 0{,}23 \text{ mtr.}$$

und deren Ordinate

$$y = \frac{u^2}{2g} \cdot \sin^2 \alpha = \frac{3^2}{2 \,.\, 9{,}81} \cdot \sin^2 15° \,. \quad . \quad . = 0{,}03 \quad „$$



Die Breite des Gerinnes ist $b_1 = b - 0{,}1 = 3{,}92 - 0{,}1 = 3{,}82$ „

Die Dicke d des durchfliessenden Wasserstrahles findet sich aus der Gleichung

$$Q = b_1 \,.\, d \,.\, u$$

Darinnen bedeutet $u = \varphi \,.\, \sqrt{2\,g\,h_1}$ die Ausflussgeschwindigkeit des Wassers aus der Schützenöffnung und $h_1 = 0{,}304$ mtr. (Fig. 13) die Tiefe des mittleren Ausgusspunktes unter dem Oberwasserspiegel (aus der Zeichnung entnommen);
somit findet sich

$$d = \frac{Q}{b_1 \,.\, u} = \frac{0{,}7}{3{,}82 \,.\, 0{,}97 \,.\, \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}304}} \;.\;.\;. = 0{,}08 \text{ mtr.}$$

Zahnkranz und Räderwerk.

Der Radius des Zahnkranzes sei angenommen zu $R_1 = 4{,}358$ mtr.
Die Theilung des Zahnkranzes wird

$$(t_1) = 4{,}83 \,.\, \sqrt{\frac{N}{R_1 \,.\, n}} = 4{,}83 \,.\, \sqrt{\frac{68{,}67}{4{,}358 \,.\, 3{,}2}} = (10{,}62 \text{ ctm.})$$

Zähnezahl des Zahnkranzes $Z_1 = \frac{2R_1 \,.\, \pi}{(t_1)} = \frac{2 \,.\, 4{,}358 \,.\, 3{,}14}{(10{,}62)} = \sim 260$

Darnach ändert sich die Theilung

$$t_1 = \frac{2\,R_1 \,.\, \pi}{Z_1} = \frac{2 \,.\, 4{,}358 \,.\, 3{,}14}{260} \;.\;.\;.\;.\;. = 10{,}527 \text{ mtr.}$$

Die Hauptwelle der Spinnerei soll der Aufgabe zufolge 100 Touren pro Minute machen, behufs Erreichung dieser Forderung seien 3 Uebersetzungen angewendet im Verhältniss 1 : 6,5 : 2,5 : 2.

Somit erhält das in den Zahnkranz eingreifende Zahnrad eine Zähnezahl $z_1 = \frac{260}{6{,}5} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. = 40$

Der Halbmesser des Zahnrades wird

$$r_1 = \frac{z_1 \,.\, t_1}{2\pi} = \frac{40 \,.\, 10{,}527}{2 \,.\, 3{,}14} \;.\;.\;.\;.\;.\;.\;.\;. = 67{,}05 \text{ ctm.}$$

Das grosse Triebrad auf der Zahnradwelle erhalte
eine Zähnezahl . . . . . $Z_{''} = 75$
Die Theilung wird . . . . . $t_{''} = 8{,}37$ „
Der Halbmesser des Triebrades $R_{''} = \frac{Z_{''} \,.\, t_{''}}{2\pi} = \frac{75 \,.\, 8{,}37}{2 \,.\, 3{,}14} = 100$ „

Das zugehörige Zahnrad erhält eine Zähnezahl $z_{''} = \frac{75}{2{,}5} = 30$
eine Theilung . . . . . $t_{''} = 8{,}37$ „
und einen Halbmesser $r_{''} = \frac{z_{''} \,.\, t_{''}}{2 \,.\, \pi} = \frac{30 \,.\, 8{,}37}{2 \,.\, 3{,}14} \;.\;. = 40$ „

Das grosse conische Rad erhalte eine Zähnezahl $Z_{,,,} = 60$

Die Theilung wird . . . . . $t_{,,,} = 7{,}5$ ctm.

Der Halbmesser $R_{,,,} = \frac{Z_{,,,} \cdot t_{,,,}}{2 \cdot \pi} = \frac{60 \cdot 7{,}5}{2 \cdot 3{,}14}$ . . . . $= 71{,}6$ „

Das zugehörige kleinere conische Rad hat eine

Zähnezahl $z_{,,,} = \frac{60}{2}$ . . . . . $= 30$

eine Theilung . . . . . $t_{,,,} = 7{,}5$ „

und einen Halbmesser $r_{,,,} = \frac{z_{,,,} \cdot t_{,,,}}{2 \cdot \pi} = \frac{30 \cdot 7{,}5}{2 \cdot 3{,}14}$ . . $= 35{,}8$ „

Der Durchmesser d_1 der Zahnradwelle rechnet sich aus

$$d_1 = 12 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n}} = 12 \cdot \sqrt[3]{\frac{68{,}67}{20{,}8}} \quad . \quad . \quad . = 17{,}8 \quad \text{„}$$

Der Durchmesser d_2 der Zwischenwelle wird

$$d_2 = 12 \cdot \sqrt[3]{\frac{N}{n}} = 12 \cdot \sqrt[3]{\frac{68{,}67}{52}} \quad . \quad . \quad . = 13{,}2 \quad \text{„}$$

F. Reincke.

II. Abtheilung.

Turbinen.

Allgemeine Bezeichnungen.

Q das Aufschlagwasserquantum pro Secunde in Kubikmetern.
H das disponible Gefälle in Metern,
N_0 der absolute Effect in Pferdekräften.
η der Wirkungsgrad.
$N = \eta \,.\, N_0$ der Nutzeffect in Pferdekräften.
ε der hydraulische Wirkungsgrad.
φ der verhältnissmässige Wasserverlust.
μ der verhältnissmässige Effectverlust durch Zapfenreibung.
r_1 der mittlere Halbmesser an der Eintrittsstelle des Wassers.
r_2 der mittlere Halbmesser an der Austrittsstelle des Wassers.
z_0 die Anzahl der Leitkanäle.
z die Anzahl der Radkanäle.
δ_0 die Dicke der Leitschaufel am Ende der Austrittsstelle des Wassers.
δ_1 die Dicke der Radschaufel an der Eintrittsstelle des Wassers.
δ_2 die Dicke der Radschaufel an der Austrittsstelle des Wassers.
a_0 und b_0 die Weite und Breite der Mündungen der Leitkanäle.
a_1 und b_1 die Weite und Breite der Radkanäle an der Eintrittsstelle des Wassers.
a_2 und b_2 die Weite und Breite der Radkanäle an der Austrittsstelle des Wassers.
u die absolute Geschwindigkeit des Wassers zwischen Leit- und Laufrad.

u_1 die absolute Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser in das Laufrad eintritt.
u_2 die absolute Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser die Turbine verlässt.
v_1 die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Turbine an der Eintrittsstelle.
v_2 die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Turbine an der Austrittsstelle.
w die relative Geschwindigkeit des Wassers, mit welcher es der Turbine zufliesst.
w_1 die relative Geschwindigkeit des Wassers, unmittelbar nach erfolgtem Eintritt.
w_2 die relative Geschwindigkeit des Wassers beim Austritt desselben.
α der Winkel, welchen u und v_1 mit einander bilden.
β_1 das Supplement des Winkels zwischen den Richtungen v_1 und w_1.
β_2 das Supplement des Winkels zwischen den Richtungen v_2 und w_2.
n die Umdrehungszahl der Turbine pro Minute.
ϱ_0 der Gefällverlust bis zum Eintritt des Wassers in die Turbine.
$m \leqq 1 - \varrho_0$ die Charakteristik der Turbine.
λ ein erfahrungsmässig zu bestimmender Coefficient.
k, k_0, k_1 Correctionscoefficienten.
h die Höhe des Laufrades.
h_1 die Höhe des Leitrades.
t_0 die Theilung des Leitrades.
t die Theilung des Laufrades.

Jonval'sche Hochdruck-Turbine. (Blatt 10.)

Die (nahezu constante) Betriebswassermenge beträgt . . . . . $Q =$ 1,28 cbmtr. pro Sec.
Das disponible Gefälle ist . . . . . $H =$ 7,40 mtr.
Die von der Turbine zu betreibende verticale Welle der Fabrik soll . . . 130 Touren pro Minute machen.
Der Fussboden der Fabrik kommt . . . 3,20 mtr. unter den Oberwasserspiegel zu liegen.

Die Turbine soll nach dem Jonval-System ausgeführt werden und erhält einen geschlossenen Mantel mit seitlichem Einfallrohr (sogenannte mittlere Aufstellung).

Zum raschen Anlassen und Abstellen ist die Turbine mit einer Drosselklappe zu versehen.

Berechnung der Turbine.

Der absolute Effect der Wasserkraft wird

$$N_0 = \frac{1000 \,.\, Q \,.\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 1{,}28 \,.\, 7{,}40}{75} \quad . = 126{,}3 \text{ Pfdkr.}$$

Schätzt man für diese Turbine den Wirkungsgrad zu . . . . . $\eta = 0{,}70$

so erhält man einen Nutzeffect

$$N = \eta \,.\, N_0 = 0{,}70 \,.\, 126{,}3 \quad . \quad . \quad . \quad . = 88{,}41 \text{ Pfdkr.}$$

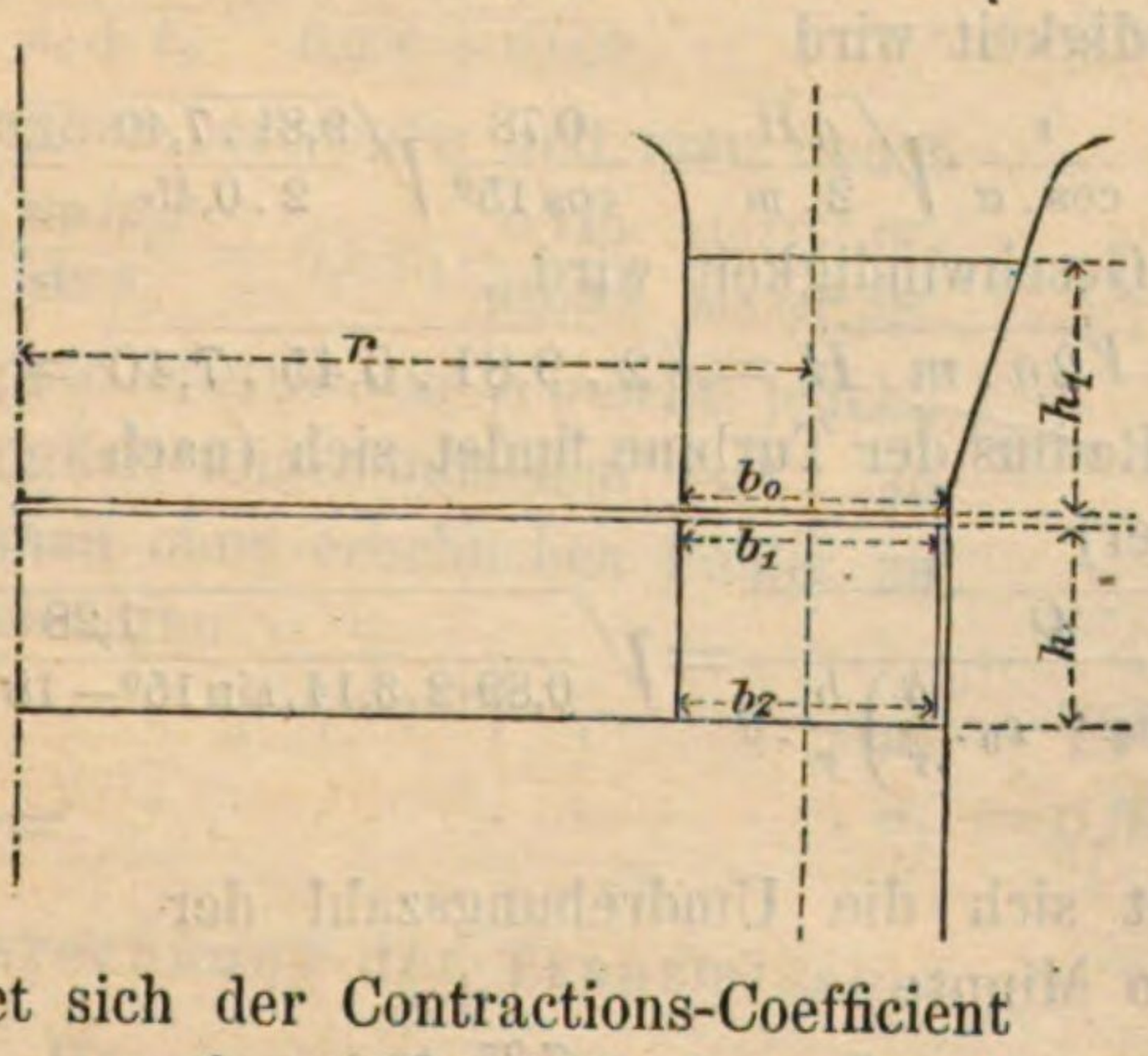
Dem Entwurf der Turbine seien folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

Die Charakteristik sei . . . . . $m = 0{,}45$

Der Coefficient . . . . . $\lambda = 0{,}12$

Der hydraulische Wirkungsgrad . . . . . $\varepsilon = 0{,}78$

Der Coefficient . . . . . $\mu = 0{,}04$



Darnach findet sich der Contractions-Coefficient

$$k = \frac{\varepsilon - \lambda}{\eta + \mu} = \frac{0{,}78 - 0{,}12}{0{,}70 + 0{,}04} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}89$$

Die Halbmesser der Turbine seien . . $r_1 = r_2 = r$

Die Breiten der Radkanäle . . $b_0 = b_1 = b_2 = b$

Das Verhältniss . . . . . $\frac{b}{r} = 0{,}25$

Die Anzahl der Leitschaufeln . . . . . $z_0 = 18$

Die Anzahl der Radschaufeln . . . . . $z = 28$
Die Dicke der Schaufeln (Schmiedeeisen)

$$\delta = \delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = 0{,}007 \text{ mtr.}$$

Das Verhältniss (geschätzt) . . . . . $\frac{\delta}{r} = 0{,}01$

Der Leitschaufel-Winkel . . . . . $\alpha = 15^0$

Der Winkel β_1 ergibt sich nun aus der Gleichung

$$\text{cotg} \,.\, \beta_1 = \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon - \lambda} \cdot \frac{1}{m \,.\, \sin 2\alpha} - \text{cotg}\, \alpha = \frac{0{,}78^2}{0{,}78 - 0{,}12} \cdot \frac{1}{0{,}45 \,.\, \sin \,.\, 30^0} - \\ - \text{cotg} \,.\, 15^0 = 0{,}3648$$

mithin wird . . . . . $\measuredangle \beta_1 = 69^0\, 58'$

Der Winkel β_2 kann vorerst nur näherungsweise berechnet werden mittelst der Gleichung

$$\text{tg} \,.\, \beta_2 = i \cdot \frac{b_1}{b_2} \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon - \lambda}{\varepsilon^2} \cdot m \,.\, \sin \,.\, 2\alpha$$

Setzt man hierin behufs einer ersten Annäherung
den Factor . . . . . $i = 1$
so erhält man

$$\text{tg} \,.\, (\beta_2) = \frac{0{,}78 - 0{,}12}{0{,}78^2} \cdot 0{,}45 \,.\, \sin 30^0 \quad . = 0{,}2441$$

mithin wird . . . . . $\measuredangle (\beta_2) = (13^0\, 43')$

Die dem vortheilhaftesten Gang des Rades entsprechende Umfangsgeschwindigkeit wird

$$v = \frac{\varepsilon}{\cos \,.\, \alpha} \cdot \sqrt{\frac{gH}{2 \,.\, m}} = \frac{0{,}78}{\cos 15^0} \sqrt{\frac{9{,}81 \,.\, 7{,}40}{2 \,.\, 0{,}45}} = 7{,}25 \quad \text{mtr.}$$

Die absolute Geschwindigkeit wird

$$u = \sqrt{2g \,.\, m \,.\, H} = \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}45 \,.\, 7{,}40} = 8{,}08 \quad \text{„}$$

Der mittlere Radius der Turbine findet sich (nach Redtenbacher)

$$r = \sqrt{\frac{Q}{k\left(2\pi \sin\alpha - z_0 \cdot \frac{\delta}{r}\right)\frac{b}{r} \,.\, u}} = \sqrt{\frac{1{,}28}{0{,}89(2 \,.\, 3{,}14 \,.\, \sin 15^0 - 18 \,.\, 0{,}01) \,.\, 0{,}25 \,.\, 8{,}08}}$$

$$= 0{,}70 \quad \text{mtr.}$$

alsdann findet sich die Umdrehungszahl der Turbine pro Minute

$$n = 9{,}55 \cdot \frac{v}{r} = 9{,}55 \cdot \frac{7{,}25}{0{,}70} \quad . \quad . \quad . \quad . = 99$$

Die Höhe des Laufrades sei . . . . . $h = 0{,}24$ „
Die Höhe des Leitrades . . . . . $h_1 = 0{,}39$ „
Der Spielraum zwischen Leitrad und Laufrad $s = 0{,}006$ „
Der Spielraum zwischen Laufrad und Mantel $s_1 = 0{,}002$ „
bis $0{,}003$ „

Die Theilung des Leitrades wird

$$t_0 = \frac{2r \,.\, \pi}{z_0} = \frac{2 \,.\, 0{,}70 \,.\, 3{,}14}{18} \;.\;.\;.\;.\;. = 0{,}244 \text{ mtr.}$$

Die Theilung des Laufrades wird

$$t = \frac{2r \,.\, \pi}{z} = \frac{2 \,.\, 0{,}70 \,.\, 3{,}14}{28} \;.\;.\;.\;.\;. = 0{,}157 \text{ „}$$

Die Weite der Leitkanäle findet sich zu

$$a_0 = \frac{2r \,.\, \pi}{z_0} \cdot \sin\alpha - \delta_0 = \frac{2 \,.\, 0{,}70 \,.\, 3{,}14}{18} \sin 15^0 - 0{,}007$$
$$= 0{,}056 \text{ mtr.}$$

Die Weite der Laufradkanäle

$$a_1 = \frac{2r \,.\, \pi}{z} \cdot \sin\beta_1 - \delta_1 = \frac{2 \,.\, 0{,}70 \,.\, 3{,}14}{28} \,.\, \sin 69^0\,58' - 0{,}007$$
$$= 0{,}140 \text{ mtr.}$$

Die Weite a_2 berechnet sich vorerst nur näherungsweise mittelst der Gleichung

$$(a_2) = \frac{2r \,.\, \pi}{z} \cdot \sin(\beta_2) - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 0{,}70 \,.\, 3{,}14}{28} \cdot \sin(13^0\,43') - 0{,}007$$
$$= (0{,}030 \text{ mtr.})$$

Die Kanalbreite wird $b = 0{,}25 \,.\, r = 0{,}25 \,.\, 0{,}70 \;. = 0{,}175$ mtr.

Nun findet sich der Contractionscoefficient

$$k_1 = \frac{a_0}{a_0 + \delta_0} = \frac{0{,}056}{0{,}056 + 0{,}007} \;.\;.\;.\;. = 0{,}888$$

Jetzt lässt sich i näher berechnen und man findet

$$i = k_1 \cdot \frac{a_1}{(a_2)} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin(\beta_2)}{\sin\beta_1} = 0{,}888 \cdot \frac{0{,}140}{(0{,}030)} \cdot \frac{\sin(13^0\,43')}{\sin 69^0\,58'} = 1{,}04$$

Dieser corrigirte Werth von i weicht jedoch von dem ursprünglich angenommenen $i = 1$ so wenig ab, dass man ohne erheblichen Fehler zu begehen, annehmen kann

den Winkel . . . . . $\beta_2 = 13^0\,43'$
die Weite . . . . . $a_2 = 0{,}030$ mtr.

Berechnung der Transmission.

Die verticale Hauptwelle der Fabrik soll programmgemäss 130 Touren pro Minute machen, die Turbine macht aber nur 99 Umdrehungen pro Minute, mithin erhält man eine Uebersetzung ins Schnelle von $i = \frac{130}{99} = 1{,}32$.

Wie die Disposition (siehe Blatt 10) zeigt, wird diese Uebersetzung erreicht durch ein conisches Räderpaar (a, α), von welchem

das grössere Rad auf der Turbinenwelle sitzt, während das kleinere eine horizontale Welle antreibt, von welch' letzterer aus ein zweites conisches Räderpaar (b, β) mit der Uebersetzung 1 : 1 die Bewegung auf die vertikale Hauptwelle überträgt.

Man erhält folgende Zusammenstellung:

Rad	r	t	α	β	γ	z	n	i	$d = 12\sqrt[3]{\frac{N}{n}}$
a	68,80	6	2,85	17,1	4,27	72	99	1,32	12 ctm.
α	51,34					54	130		11 ctm.
b	51,34	6	2,85	17,1	4,27	54	130	1	11 ctm.
β	51,34					54	130		11 ctm.

A. Kappes.

Turbinen-Anlage mit 2 Girard-Turbinen zum Betriebe einer Spinnerei. (Blatt 11 und 12.)

Die Wassermenge ist veränderlich und beträgt
im Maximum . $Q_{max} = 2{,}580$ cbmtr. pro Sec.
im Minimum . $Q_{min} = 1{,}750$ cbmtr. pro Sec.
Die entsprechende Schwankung des Unterwasserspiegels ist . . . . . ca. 0,20 mtr.
Bei grösstem Wasserzufluss beträgt das disponible Gefälle . . . . . $H = 4{,}05$ mtr.

Die beiden Turbinen kommen in ein besonderes freistehendes Wasserhaus zu stehen und treiben zunächst eine in die Fabrik hinüber zu führende horizontale Welle, von welcher die vertikale Hauptwelle mit . . . . . 120 Touren pro Minute angetrieben werden soll.

Die ganze Wasserkraft soll auf die beiden Turbinen im Verhältniss 60% zu 40% vertheilt werden.

Berechnung.

Es kommt auf die grössere Turbine:
ein Wasserquantum im Maximum

$$Q_{max} = \frac{2{,}580 \,.\, 3}{5} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}548 \text{ cbmtr. pro Sec.}$$

im Minimum $Q_{min} = \frac{1{,}750 \,.\, 3}{5} \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}050 \quad „ \quad „ \quad „$

und auf die kleinere Turbine:
ein Wasserquantum im Maximum:

$$Q_{max} = \frac{2{,}580 \,.\, 2}{5} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}032 \quad „ \quad „ \quad „$$

im Minimum $Q_{min} = \frac{1{,}750 \,.\, 2}{5} \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}700 \quad „ \quad „ \quad „$

Berechnung der grösseren Turbine.

Man erhält einen absoluten Effect
im Maximum

$$N_{0\,max} = \frac{1000 \,.\, Q_{max}\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 1{,}548 \,.\, 4{,}05}{75} = 83{,}59 \text{ Pfdkr.}$$

im Minimum

$$N_{0\,min} = \frac{1000 \,.\, Q_{min}\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 1{,}050 \,.\, 4{,}05}{75} = 56{,}7 \quad „$$

Schätzt man den Wirkungsgrad zu . . . . $\eta = 0{,}70$
so erhält man einen Nutzeffect
im Maximum $N_{max} = \eta \,.\, N_{0\,max} = 0{,}70 \,.\, 83{,}59 = 58{,}5$ Pfdkr.
im Minimum $N_{min} = \eta \,.\, N_{0\,min} = 0{,}70 \,.\, 56{,}7 \;. = 39{,}7 \quad „$

Die Berechnung ist weiter zu führen für ein Wasserquantum $Q_{max} = 1{,}548$ cbmtr. pro Sec.

Dabei werden folgende Grössen angenommen:
Nach Grashof setze man die Charakteristik . . . . $m = 0{,}8$
Ferner werde angenommen das Verhältniss . . . . $\frac{b_2}{b_1} = 2$
Der Winkel . . . . . $\alpha = 15^0$
Der Coefficient . . . . . $\lambda = 0$
Der hydraulische Wirkungsgrad ε sei angenommen (nach Grashof) zu . . . . . $\varepsilon = 0{,}76$

Mit diesen Annahmen findet sich der Winkel β_1 (nach Grashof) aus der Gleichung:

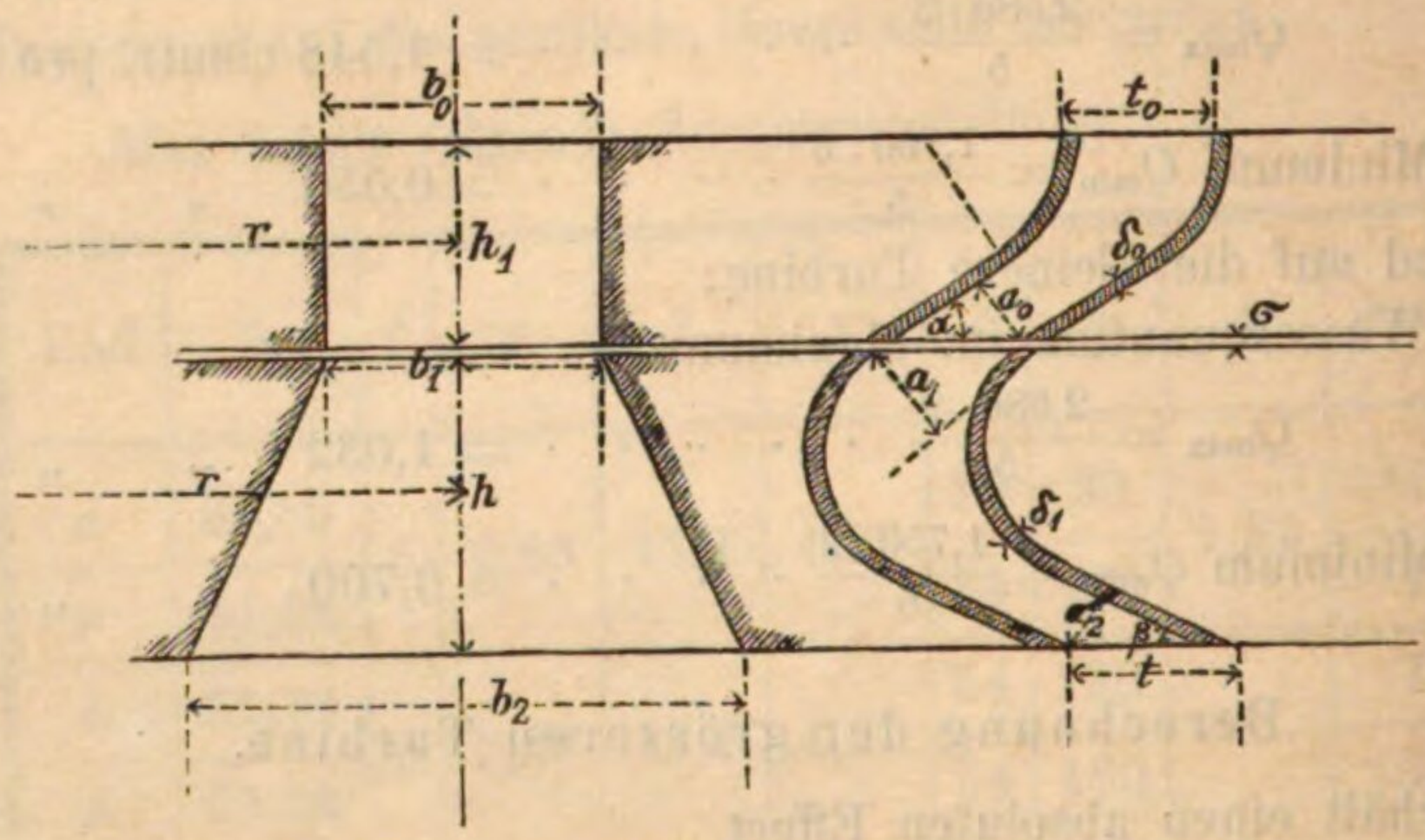
$$\text{cotg. } \beta_1 = \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon - \lambda} \cdot \frac{1}{m \,.\, \sin 2\alpha} - \text{cotg} \,.\, \alpha = \frac{0{,}76^2}{0{,}76} \cdot \frac{1}{0{,}8 \,.\, \sin 30^0} - \text{cotg } 15^0$$

$$\text{cotg } \beta_1 = 1{,}9 - 3{,}7321 = -1{,}8321$$

oder $\quad -\operatorname{cotg}\beta_1 = 1{,}8321 = \operatorname{cotg}(180^0 - \beta_1)$

daraus findet sich $\quad (180^0 - \beta_1) = 28^0\,33'$

mithin $\quad \measuredangle\,\beta_1 = 151^0\,27'$



Mit der Annahme des Verhältnisses $\frac{b_1}{b_2} = \frac{1}{2}$ und $\frac{r_1}{r_2} = 1$ lässt sich vorerst näherungsweise der Winkel β_2 bestimmen.

Indem man den Ausdruck $i = k_1 \cdot \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin\beta_2}{\sin\beta_1}$ behufs einer ersten Annäherung (nach Grashof) $= 1$ setzt, findet man aus der Gleichung:

$$\operatorname{tg}.\beta_2 = i \cdot \frac{b_1}{b_2}\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \frac{\varepsilon - \lambda}{\varepsilon^2} \cdot m \,.\, \sin 2\alpha$$

durch Einsetzen der betreffenden Werthe

$$\operatorname{tg}.\beta_2 = 0{,}5 \cdot \frac{0{,}8\,.\,0{,}5}{0{,}76} = 0{,}2631$$

und daraus einen Näherungswerth $(\beta_2) = (14^0\,45')$

Die absolute Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser dem Laufrade zufliesst, beträgt pro Secunde.

$$u = \sqrt{2g\,.\,m\,.\,H} = \sqrt{2\,.\,9{,}81\,.\,0{,}8\,.\,4{,}05} = 7{,}97 \text{ mtr.}$$

Die mittlere Umfangsgeschwindigkeit findet sich aus der Gleichung:

$$v = \frac{\varepsilon}{\cos\alpha} \cdot \sqrt{\frac{gH}{2m}} = \frac{0{,}76}{\cos 15^0} \cdot \sqrt{\frac{9{,}81\,.\,4{,}05}{2\,.\,0{,}8}} = 3{,}92 \text{ mtr. pro Sec.}$$

Nimmt man das Verhältniss $\frac{b_1}{r} = 0{,}3$ und das Product der Coefficienten $k\,.\,k_0\,.\,k_1 = 0{,}8$, so findet sich der mittlere Radius der Turbine aus der Gleichung:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{k \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot 2\pi \cdot \sin\alpha \cdot \frac{b_1}{r} \cdot u}} = \sqrt{\frac{1{,}548}{0{,}8 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot \sin 15^0 \cdot 0{,}3 \cdot 7{,}97}}$$

$= 0{,}705$ mtr.

abgerundet $r = 0{,}7$ „

Die Anzahl der Umdrehungen der Turbine pro Minute findet sich aus der Gleichung:

$$n = 9{,}55 \cdot \frac{v}{r} = 9{,}55 \cdot \frac{3{,}92}{0{,}7} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot = 53{,}5$$

Man setzt die Höhe des Laufrades

$$h = \frac{1}{4} \cdot r = \frac{1}{4} \cdot 0{,}7 \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot = 0{,}175 \text{ mtr.}$$

die Höhe des Leitrades $h_1 = \frac{3}{4} \cdot h = \frac{3}{4} \cdot 0{,}175 \cdot = 0{,}131$ „

Nimmt man ferner an

die Anzahl der Kanäle des Leitrades . . . $z_0 = 20$

die Anzahl der Kanäle des Laufrades . . . $z = 30$

so folgt hieraus

die Theilung des Leitrades $t_0 = \frac{2r \,.\, \pi}{z_0} = \frac{2 \,.\, 0{,}7 \,.\, 3{,}14}{20} = 0{,}2198$ „

die Theilung des Laufrades $t = \frac{2r \,.\, \pi}{z} = \frac{2 \,.\, 0{,}7 \,.\, 3{,}14}{30} = 0{,}1465$ „

Die Schaufeln sind aus Gusseisen ausgeführt, und zwar ist angenommen die Dicke der Leitschaufel am Ende der Austrittsstelle des Wassers . . . . . $\delta_0 = 0{,}008$ mtr.

Die Dicke der Radschaufel an der Eintrittsstelle und Austrittsstelle des Wassers . . . $\delta_1 = \delta_2 = 0{,}008$ „

Darnach bestimmen sich:

die Weite

$$a_0 = \frac{2\pi \,.\, r}{z_0} \cdot \sin\alpha - \delta_0 = \frac{2 \,.\, 3{,}14 \,.\, 0{,}7}{20} \cdot \sin 15^0 - 0{,}008 = 0{,}049 \text{ „}$$

die Weite

$$a_1 = \frac{2\pi r}{z} \cdot \sin\beta_1 - \delta_1 = \frac{2 \,.\, 3{,}14 \,.\, 0{,}7}{30} \cdot \sin 151^0\,27' - 0{,}008$$

$= 0{,}062$ mtr.

Die Weite a_2 an der Austrittsstelle des Wassers aus dem Laufrade lässt sich wegen des Winkels (β_2) vorerst nur näherungsweise bestimmen aus der Gleichung

$$(a_2) = \frac{2\pi r}{z} \cdot \sin(\beta_2) - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 3{,}14 \,.\, 0{,}7}{30} \cdot \sin(14^0\,45') - 0{,}008$$

$= (0{,}0293)$ mtr.

Die Breite b_0 des Leitkanales, sowie die Breite b_1 des Laufrades sind der Annahme zufolge

$$b_0 = b_1 = 0{,}3 \,.\, r = 0{,}3 \,.\, 0{,}7 \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}21 \text{ mtr.}$$

Die Breite b_2 an der Austrittsstelle des Wassers aus dem Laufrade dagegen ist

$$b_2 = 2 b_1 = 2 \,.\, 0{,}21 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}42 \text{ mtr.}$$

Nun lassen sich die Coefficienten k, k_0, k_1 einzeln bestimmen, und zwar findet sich (nach Grashof)

$$k = \frac{\varepsilon - \lambda}{\eta + \mu} = \frac{0{,}76}{0{,}7 + 0{,}04} = 1{,}03; \quad k_0 = \frac{a_1}{a_1 + \delta_1} = \frac{0{,}062}{0{,}062 + 0{,}008} = 0{,}885;$$

$$k_1 = \frac{a_0}{a_0 + \delta_0} = \frac{0{,}049}{0{,}049 + 0{,}008} = 0{,}86$$

Mit Hilfe dieser Werthe lässt sich jetzt ein corrigirter Werth für i finden aus der Gleichung

$$i = k_1 \cdot \frac{a_1}{(a_2)} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin(\beta_2)}{\sin \beta_1} = 0{,}86 \cdot \frac{0{,}062}{(0{,}0293)} \cdot \frac{\sin \,.\, (14^0\, 45')}{\sin \,.\, 151^0\, 27'} = 0{,}97$$

Nun findet sich auch ein corrigirter Werth für den Winkel β_2 aus der Gleichung

$$\text{tg} \,.\, \beta_2 = i \,.\, \text{tg}\,(\beta_2) = 0{,}97 \,.\, \text{tg} \,.\, (14^0\, 45') = 0{,}2552$$

somit wird $\measuredangle \beta_2 = 14^0\, 20'$

Mithin erhält man endgiltig die Weite a_2 an der Austrittsstelle des Wassers aus dem Laufrad, indem man setzt

$$a_2 = \frac{2\pi r}{z} \cdot \sin \beta_2 - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 3{,}14 \,.\, 0{,}7}{30} \cdot \sin \,.\, 14^0\, 20' - 0{,}008 = 0{,}0283 \text{ mtr.}$$

Berechnung der kleineren Turbine.

Es beträgt

die Wassermenge im Maximum . $Q_{max} = 1{,}032$ cbmtr. pro Sec.

im Minimum . $Q_{min} = 0{,}700$ cbmtr. pro Sec.

bei einem Gefälle . . . . . $H = 4{,}05$ mtr.

Man erhält hiernach einen absoluten Effect

im Maximum $N_{0\,max} = \frac{1000 \,.\, Q_{max}\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 1{,}032 \,.\, 4{,}05}{75} = 55{,}73$ Pfdkr.

im Minimum $N_{0\,min} = \frac{1000 \,.\, Q_{min}\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 0{,}7 \,.\, 4{,}05}{75} = 37{,}8$ „

Schätzt man auch hier den Wirkungsgrad zu $\eta = 0{,}70$

so erhält man einen Nutzeffect

im Maximum $N_{max} = \eta \,.\, N_{0\,max} = 0{,}70 \,.\, 55{,}73 \,. = 39$ Pfdkr.

im Minimum $N_{min} = \eta \,.\, N_{0\,min} = 0{,}70 \,.\, 37{,}8 \quad . = 26{,}5$ „

Analog der Berechnung der grösseren Turbine werden folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

die Charakteristik . . . . . $m = 0{,}8$

das Verhältniss . . . . . $\frac{b_2}{b_1} = 2$

der Winkel . . . . . $\alpha = 15^0$

der Coefficient . . . . . $\lambda = 0$

der hydraulische Wirkungsgrad . . . . . $\varepsilon = 0{,}76$

Mit diesen Annahmen findet sich der Winkel β_1 aus der Gleichung:

$$\text{cotg} \, . \, \beta_1 = \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon - \lambda} \cdot \frac{1}{m \, . \sin 2\alpha} - \text{cotg}\, \alpha = 0{,}76 \cdot \frac{1}{0{,}8 \, . \, 0{,}5} - \text{cotg} \, . \, 15^0$$

$$= 1{,}9 - 3{,}7321 = - \, 1{,}8321$$

oder $\quad - \text{cotg}\, \beta_1 = 1{,}8321 = \text{cotg} \, . \, (180^0 - \beta_1)$

daraus findet sich $\quad (180^0 - \beta_1) = 28^0 \, 33'$

mithin $\quad \sphericalangle \beta_1 = 151^0 \, 27'$

Als Näherungswerth für den Winkel β_2 ergibt sich auch hier . . . . . $\sphericalangle (\beta_2) = (14^0 \, 45')$

Die absolute Geschwindigkeit wird ebenfalls $u = 7{,}97$ mtr. pro Sec.

Die mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Turbine . . . . . $v = 3{,}92$ „ „ „

Wählt man wieder das Verhältniss $\frac{b_1}{r} = 0{,}3$ und das Product der Coefficienten $k \, . \, k_0 \, . \, k_1 = 0{,}8$, so findet sich der mittlere Radius der kleineren Turbine

$$r = \sqrt{\frac{Q}{k \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot 2\pi \cdot \sin \alpha \cdot \frac{b_1}{r} \cdot u}} = \sqrt{\frac{1{,}032}{0{,}8 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot \sin \cdot 15^0 \cdot 0{,}3 \cdot 7{,}97}}$$

$$= \sim 0{,}58 \text{ mtr.}$$

Die Anzahl der Umdrehungen der Turbine pro Minute wird

$$n = 9{,}55 \cdot \frac{v}{r} = 9{,}55 \cdot \frac{3{,}92}{0{,}58} \quad . \quad . \quad . \quad . = 64{,}5 \quad \text{„}$$

Die Höhe des Laufrades $h = \frac{1}{4} r = \frac{1}{4} \cdot 0{,}58 \quad . \quad . = 0{,}145 \quad \text{„}$

Die Höhe des Leitrades $h_1 = \frac{3}{4} h = \frac{3}{4} \cdot 0{,}145 \, . \quad . = 0{,}109 \quad \text{„}$

Nimmt man die Anzahl der Kanäle des Leitrades $z_0 = 18$

die Anzahl der Kanäle des Laufrades $z = 28$

so findet sich die Theilung des Leitrades

$$t_0 = \frac{2 r \pi}{z_0} = \frac{2 \, . \, 0{,}58 \, . \, 3{,}14}{18} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}202 \quad \text{„}$$

die Theilung des Laufrades

$$t = \frac{2r\pi}{z} = \frac{2 \,.\, 0{,}58 \,.\, 3{,}14}{28} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}130 \text{ mtr.}$$

Die Schaufeln sind aus Gusseisen ausgeführt und es seien auch hier sämmtliche Dicken

$$\delta_0 = \delta_1 = \delta_2 = 0{,}008 \text{ „}$$

Darnach bestimmen sich die Kanalweiten

$$a_0 = \frac{2r\pi}{z_0} \cdot \sin\alpha - \delta_0 = \frac{2 \,.\, 0{,}58 \,.\, 3{,}14}{18} \cdot \sin 15^0 - 0{,}008$$

$$= 0{,}0443 \text{ mtr.}$$

$$a_1 = \frac{2r\pi}{z} \cdot \sin\beta_1 - \delta_1 = \frac{2 \,.\, 0{,}58 \,.\, 3{,}14}{28} \cdot \sin 151^0\,27' - 0{,}008$$

$$= 0{,}054 \text{ mtr.}$$

Man findet annähernd eine Weite

$$(a_2) = \frac{2r\pi}{z} \cdot \sin(\beta_2) - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 0{,}58 \,.\, 3{,}14}{28} \cdot \sin(14^0\,45') - 0{,}008$$

$$= (0{,}025 \text{ mtr.})$$

Die verschiedenen Breiten der Kanäle des Leit- rades und Laufrades sind:

$$b_0 = b_1 = 0{,}3 \,.\, r = 0{,}3 \,.\, 0{,}58 \quad . \quad . \quad . = 0{,}174 \text{ mtr.}$$

$$b_2 = 2b_1 = 2 \,.\, 0{,}174 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}348 \text{ „}$$

Nun lassen sich die Coefficienten k, k_0, k_1 einzeln bestimmen und zwar ist

$$k = \frac{\varepsilon - \lambda}{\eta + \mu} = \frac{0{,}76}{0{,}7 + 0{,}04} = 1{,}03; \; k_0 = \frac{a_1}{a_1 + \delta_1} = \frac{0{,}054}{0{,}054 + 0{,}008} = 0{,}871;$$

$$k_1 = \frac{a_0}{a_0 + \delta_0} = \frac{0{,}0443}{0{,}0443 + 0{,}008} = 0{,}847.$$

Mit Hilfe dieser Werthe findet sich jetzt ein corrigirter Werth für i aus der Gleichung:

$$i = k_1 \cdot \frac{a_1}{(a_2)} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin(\beta_2)}{\sin\beta_1} = 0{,}847 \cdot \frac{0{,}054}{(0{,}025)} \cdot \frac{\sin(14^0\,45')}{\sin 151^0\,27'} = 0{,}974$$

Somit erhält man einen corrigirten Werth von (β_2) aus der Gleichung

$$\text{tg} \,.\, \beta_2 = i \,.\, \text{tg} \,.\, (\beta_2) = 0{,}974 \,.\, \text{tg} \,.\, (14^0\,45') = 0{,}2563$$

Daraus bestimmt sich $\measuredangle \beta_2 = 14^0\,23'$

Mithin wird endgiltig die Kanalweite

$$a_2 = \frac{2r\pi}{z} \cdot \sin\beta_2 - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 0{,}58 \,.\, 3{,}14}{28} \cdot \sin \,.\, 14^0\,23' - 0{,}008$$

$$= 0{,}024 \text{ mtr.}$$

L. Schlicksupp.

Turbinen-Anlage mit 2 Girard-Turbinen zum Betriebe einer Spinnerei und Weberei. (Blatt 13 und 14.)

Die Betriebswassermenge ist veränderlich
und beträgt im Maximum . . Q_{max} = 2,250 cbmtr. pro Sec.
im Minimum . . Q_{min} = 1,280 „ „ „
Die Schwankung im Stande des Unterwassers ist geschätzt zu . . . . . 0,20 mtr.
Bei grösstem Wasserzufluss (höchsten Wasserständen) ist noch ein reines Nutzgefälle vorhanden von . . . H = 8,05 „
Der Fussboden der untern Arbeitssäle kommt um . . . . . 3,30 „
über den Oberwasserspiegel zu liegen.
Die verticale Hauptwelle der Spinnerei soll 120 Touren pro Minute machen.

Die gesammte Wasserkraft ist auf die zwei Turbinen im Verhältniss 5 : 3 zu vertheilen.

Beide Turbinen sind mit zweckmässigen Regulir- und Ausrück-Vorrichtungen zu versehen.

Berechnung.

Die Turbinen werden für die grösste Wassermenge von . . . . . Q_{max} = 2,250 cbmtr.
und das hiezu gehörige Gefälle von . . H = 8,05 mtr.
berechnet. Hiefür ist
der absolute Effect

$$N_0 = \frac{1000 \,.\, Q_{max} \,.\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 2{,}250 \,.\, 8{,}05}{75} = 241{,}5 \text{ Pfdkr.}$$

und bei einem Wirkungsgrad . . . . η = 0,70
der Nutzeffect $N = \eta \,.\, N_0 = 0{,}70 \,.\, 241{,}5$ . . = 169,05 Pfdkr.

Berechnung der grösseren Turbine.

Es beträgt der Aufgabe zufolge das Aufschlagwasserquantum

$$Q = \frac{5}{8} \cdot 2{,}250 \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}406 \text{ cbmtr. pro Sec.}$$

der Nutzeffect $N = \frac{5}{8} \cdot 169{,}05$ . . = 105,65 Pfdkr.

Der weiteren Berechnung lege man folgende Annahmen zu Grunde:

Die Charakteristik sei . . . . . $m = 0{,}8$

Das Verhältniss . . . . . $\frac{b_2}{b_1} = 2$

Der Winkel . . . . . $\alpha = 18^0$

Der Coefficient . . . . . $\lambda = 0$

Der hydraulische Wirkungsgrad . . . . . $\varepsilon = 0{,}76$

Mit diesen Annahmen findet sich der Winkel β_1 aus der Gleichung:

$$\text{cotg} \cdot \beta_1 = \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon - \lambda} \cdot \frac{1}{m \,.\, \sin 2\alpha} - \text{cotg}\, \alpha = 0{,}76 \cdot \frac{1}{0{,}8 \,.\, \sin \,.\, 36^0} - \text{cotg}\, 18^0$$
$$= -\, 1{,}46192$$

oder $\quad -\, \text{cotg} \,.\, \beta_1 = 1{,}46192 = \text{cotg} \,.\, (180^0 - \beta_1)$

woraus sich findet $\quad 180^0 - \beta_1 = 34^0\, 22'$

und somit $\quad \measuredangle \beta_1 = 145^0\, 38'$

Mit der Annahme $\frac{b_1}{b_2} = \frac{1}{2}$ und $\frac{r_1}{r_2} = 1$ kann man vorerst näherungsweise den Winkel β_2 bestimmen.

Indem man den Ausdruck

$$i = k_1 \cdot \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} = 1$$

setzt behufs einer ersten Annäherung, findet man aus der Gleichung

$$\text{tg} \cdot \beta_2 = i \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon - \lambda}{\varepsilon^2} \cdot m \cdot \sin 2\alpha = 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{0{,}76} \cdot 0{,}8 \cdot \sin 36^0$$
$$= 0{,}30895$$

mithin $\quad \measuredangle (\beta_2) = (17^0\, 10')$

Die absolute Geschwindigkeit wird

$$u = \sqrt{2\, g \,.\, m \,.\, H} = \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}8 \,.\, 8{,}05} = 11{,}24 \text{ mtr. pro Sec.}$$

Die Umfangsgeschwindigkeit der Turbine ist

$$v = \frac{\varepsilon}{\cos \alpha} \cdot \sqrt{\frac{g\, H}{2\, m}} = \frac{0{,}76}{\cos \,.\, 18^0} \cdot \sqrt{\frac{9{,}81 \,.\, 8{,}05}{2 \;\; 0{,}8}} = 5{,}62 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{„}$$

Nimmt man das Verhältniss . . . . $\frac{b_1}{r} = \frac{1}{4}$

das Product des Coefficienten . $k \,.\, k_0 \,.\, k_1 = 0{,}8$

so bestimmt sich der mittlere Radius r der Turbine aus der Gleichung:

$$r = \sqrt{\frac{Q}{k \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot 2\pi \cdot \sin\alpha \cdot \frac{b_1}{r} \cdot u}} = \sqrt{\frac{1{,}406}{0{,}8 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot \sin 18^0 \cdot 0{,}25 \cdot 11{,}24}}$$

$$= \sim 0{,}60 \text{ mtr.}$$

Die Anzahl der Umdrehungen der Turbine

wird $n = 9{,}55 \cdot \frac{v}{r} = 9{,}55 \cdot \frac{5{,}62}{0{,}60} \quad . \quad . \quad . = \sim 90$

Was die Schaufelzahlen und Schaufeldicken betrifft, so setze man:

Die Anzahl der Leitschaufeln . . . . . $z_0 = 28$
Die Anzahl der Turbinenschaufeln . . . . $z = 40$
Die Dicke einer Leitschaufel (Schmiedeeisen) . $\delta_0 = 0{,}005$ mtr.
Die Dicke einer Radschaufel (Gusseisen) $\delta_1 = \delta_2 = 0{,}012$ „

Darnach bestimmen sich die Weite

$$a_0 = \frac{2r \,.\, \pi}{z_0} \cdot \sin\alpha - \delta_0 = \frac{2 \,.\, 0{,}60 \,.\, 3{,}14}{28} \cdot \sin \cdot 18^0 - 0{,}005 = 0{,}036 \text{ „}$$

die Weite

$$a_1 = \frac{2r \,.\, \pi}{z} \cdot \sin\beta_1 - \delta_1 = \frac{2 \,.\, 0{,}60 \,.\, 3{,}14}{40} \cdot \sin \cdot 145^0\,38' - 0{,}012$$

$$= 0{,}041 \text{ mtr.}$$

die Weite a_2 berechnet sich vorerst näherungsweise aus der Gleichung

$$(a_2) = \frac{2r\pi}{z} \cdot \sin(\beta_2) - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 0{,}60 \,.\, 3{,}14}{40} \cdot \sin \cdot (17^0\,10') - 0{,}012$$

$$= (0{,}016 \text{ mtr.})$$

Die Breite b_0 des Leitrades, sowie die Breite b_1 des Laufrades werden der Annahme zufolge

$b_0 = b_1 = \frac{1}{4} \cdot r = \frac{1}{4} \cdot 0{,}60 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}15$ mtr.

die Breite b_2 dagegen ist $b_2 = 2\,b_1 = 2 \,.\, 0{,}15 \quad . = 0{,}30$ „

Nun lassen sich die Coefficienten k, k_0, k_1 einzeln bestimmen und zwar findet sich (nach Grashof):

$$k = \frac{\varepsilon - \lambda}{\eta + \mu} = \frac{0{,}76}{0{,}70 + 0{,}04} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}03$$

$$k_0 = \frac{a_1}{a_1 + \delta_1} = \frac{0{,}041}{0{,}041 + 0{,}012} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}773$$

$$k_1 = \frac{a_0}{a_0 + \delta_0} = \frac{0{,}036}{0{,}036 + 0{,}012} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}878$$

Mit Hilfe dieser Werthe findet sich ein corrigirter Werth für i aus der Gleichung:

$$i = k_1 \cdot \frac{a_1}{(a_2)} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin(\beta_2)}{\sin \beta_1} = 0{,}878 \cdot \frac{0{,}041}{(0{,}016)} \cdot 1 \cdot \frac{\sin.(17^0 10')}{\sin. 145^0 38'} = 1{,}17$$

Auch findet sich jetzt ein corrigirter Werth von β_2 mittelst der Gleichung:

$$\text{tg}.\,\beta_2 = i\,.\,\text{tg}.\,(\beta_2) = 1{,}17\,.\,\text{tg}.\,(17^0 10') = 0{,}3614$$

woraus $$\measuredangle \beta_2 = 19^0 52'$$

Mithin wird endgiltig die Weite

$$a_2 = \frac{2r\,.\,\pi}{z} \cdot \sin \beta_2 - \delta_2 = \frac{2\,.\,0{,}60\,.\,3{,}14}{40} \cdot \sin 19^0 52' - 0{,}012 = 0{,}020 \text{ mtr.}$$

Berechnung der kleineren Turbine.

Es beträgt

das Aufschlagwasserquantum $Q = \frac{3}{8} \cdot 2{,}250 = 0{,}844$ cbmtr. pro Sec.

der Nutzeffect $N = \frac{3}{8} \cdot 169{,}05\ .\ .\ .\ .\ = 63{,}4$ Pfdkr.

Analog der vorigen Berechnung seien folgende Annahmen gemacht:

Die Charakteristik	m	= 0,8
Das Verhältniss	$\frac{b_2}{b_1}$	= 2
Der Winkel	α	$= 18^0$
Der Coefficient	λ	= 0
Der hydraulische Wirkungsgrad . . .	ε	= 0,76

Dadurch ergibt sich, wie oben, Winkel $\beta_1 = 145^0 38'$
als Näherungswerth: Winkel . . . $(\beta_2) = (17^0 10')$
Die absolute Geschwindigkeit . . . . u = 11,24 mtr. pro Sec.
Die Umfangsgeschwindigkeit der Turbine v = 5,62 „ „ „

Wählt man wieder das Verhältniss . . $\frac{b_1}{r} = \frac{1}{4}$
und das Product der Coefficienten $k\,.\,k_0\,.\,k_1 = 0{,}8$
so findet sich der mittlere Radius der kleineren Turbine

$$r = \sqrt{\frac{Q}{k \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot 2\pi \cdot \sin \alpha \cdot \frac{b_1}{r} \cdot u}} = \sqrt{\frac{0{,}844}{0{,}8 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot \sin \cdot 18^0 \cdot 0{,}25 \cdot 11{,}24}}$$

$$= \sim 0{,}45 \text{ mtr.}$$

Die Anzahl der Umdrehungen pro Minute

wird $n = 9{,}55 \cdot \frac{v}{r} = 9{,}55 \cdot \frac{5{,}62}{0{,}45} \quad . \quad . \quad . = \sim 120$

Nimmt man

die Anzahl der Kanäle des Leitrades $z_0 = 22$

die Anzahl der Kanäle des Laufrades $z = 32$

die Dicke einer Leitschaufel . . . . $\delta_0 = 0{,}004$ mtr.

die Dicke einer Radschaufel . $\delta_1 = \delta_2 = 0{,}010$ „

so erhält man die Kanalweiten

$$a_0 = \frac{2r \,.\, \pi}{z_0} \cdot \sin \alpha - \delta_0 = \frac{2 \,.\, 0{,}45 \,.\, 3{,}14}{22} \cdot \sin 18^0 - 0{,}004$$

$$= 0{,}036 \text{ mtr.}$$

$$a_1 = \frac{2r \,.\, \pi}{z} \cdot \sin \beta_1 - \delta_1 = \frac{2 \,.\, 0{,}45 \,.\, 3{,}14}{32} \cdot \sin \cdot 145^0\, 38' - 0{,}010$$

$$= 0{,}040 \text{ mtr.}$$

und näherungsweise

$$(a_2) = \frac{2r\pi}{z} \cdot \sin (\beta_2) - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 0{,}45 \,.\, 3{,}14}{32} \cdot \sin (17^0\, 10') - 0{,}010$$

$$= (0{,}0165 \text{ mtr.})$$

Die Breiten dieser Kanäle werden:

$$b_0 = b_1 = \frac{1}{4} r = \frac{1}{4} \cdot 0{,}45 \quad . \quad . = 0{,}112 \text{ mtr.}$$

$$b_2 = 2 \,.\, b_1 = 2 \,.\, 0{,}112 \quad . \quad . \quad . = 0{,}224 \text{ mtr.}$$

Die Coefficienten k, k_0, k_1 lassen sich nun einzeln bestimmen, und man findet

$$k = \frac{\varepsilon - \lambda}{\eta + \mu} = \frac{0{,}76}{0{,}70 + 0{,}04} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot = 1{,}03$$

$$k_0 = \frac{a_1}{a_1 + \delta_1} = \frac{0{,}040}{0{,}040 + 0{,}010} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot = 0{,}8$$

$$k_1 = \frac{a_0}{a_0 + \delta_0} = \frac{0{,}036}{0{,}036 + 0{,}004} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot = 0{,}9$$

Mittelst dieser Werthe bestimmt sich nun ein corrigirter Werth für i aus der Gleichung:

$$i = k_1 \cdot \frac{a_1}{(a_2)} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin (\beta_2')}{\sin \beta_1} = 0{,}9 \cdot \frac{0{,}040}{(0{,}0165)} \cdot \frac{\sin \,.\, (17^0\, 10')}{\sin \,.\, 145^0\, 38'} = 1{,}133$$

ein corrigirter Werth von β_2 findet sich aus der Gleichung:

$$\text{tg} \,.\, \beta_2 = i \,.\, \text{tg} \,.\, (\beta_2) = 1{,}133 \,.\, \text{tg} \,.\, (17^0\, 10') \,. \quad . = 0{,}3500$$

und daraus $\sphericalangle \beta_2 = 19^0\, 18'$

Somit erhält man endgiltig die Kanalweite

$$a_2 = \frac{2r \,.\, \pi}{z} \cdot \sin \beta_2 - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 0{,}45 \,.\, 3{,}14}{32} \cdot \sin \cdot 19^0 18' - 0{,}010 = 0{,}019 \text{ mtr.}$$

J. Joachim.

Girard-Partialturbine. (Blatt 15.)

Die Betriebswassermenge ist stark veränderlich und beträgt im Maximum Q_{max} = 1,05 cbmtr. pro Sec.
im Minimum Q_{min} = 0,60 „ „ „

In Folge hievon ist das disponible Gefälle ebenfalls etwas veränderlich, und es beträgt das Minimalgefälle (bei höchstem Unterwasserstand und grösstem Wasserzufluss) . . . . . H = 2,90 mtr.

Bei kleinstem Wasserzufluss sinkt der Unterwasserspiegel um . . . . ca. 0,20 „

Gemäss obiger Angaben soll eine Girard-Partialturbine construirt werden, welche mittelst Kegelräder eine horizontale Welle antreibt, welche . . . . . 1,85 „ über den höchsten Oberwasserspiegel zu liegen kommt.

Die von dieser anzutreibende verticale Hauptwelle im Fabrikgebäude soll . . 100 Touren pro Minute machen.

Zum Reguliren soll ein Ring-Drehschieber angewendet werden, welcher den Leitradkranz zur Hälfte deckt und somit bei Maximalwasser die Turbine halb beaufschlagen lässt (d. h. auf 2 gegenüberliegenden Quadranten).

Berechnung der Turbine.

Man erhält einen absoluten Effect

$$N_0 = \frac{1000 \,.\, Q_{max} \,.\, H}{75} = \frac{1000 \,.\, 1{,}05 \,.\, 2{,}90}{75} = 40{,}6 \text{ Pfdkr.}$$

Schätzt man den Wirkungsgrad zu . : . . η = 0,70

so erhält man einen Nutzeffect

$$N = \eta \,.\, N_0 = 0{,}70 \,.\, 40{,}6 \,. \,. \,. \,. \,. = 28{,}42 \text{ Pfdkr.}$$

Dem Entwurf der Turbine können ferner folgende Annahmen zu Grunde gelegt werden:

Die Charakteristik sei gesetzt zu . . . . . m = 0,8

Der Coefficient . . . . . λ = 0

Der hydraulische Wirkungsgrad ε sei erfahrungsgemäss angenommen zu . . . . . ε = 0,76

Der Coefficient . . . . . $\mu = 0{,}05$
Der Leitschaufel-Winkel . . . . . $\alpha = 20^0$

Mit diesen Annahmen findet sich (nach Grashof) der Coefficient

$$k = \frac{\varepsilon - \lambda}{\eta + \mu} = \frac{0{,}76}{0{,}70 + 0{,}05} = 1{,}013 \quad . \;.. \;. \;. = \sim 1$$

Der Winkel β_1 ergibt sich aus folgender Formel:

$$\text{cotg} \,.\, \beta_1 = \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon - \lambda} \cdot \frac{1}{m \,.\, \sin 2\alpha} - \text{cotg}\, \alpha = 0{,}76 \cdot \frac{1}{0{,}8 \,.\, \sin \,.\, 40^0} - \text{cotg} \,.\, 20^0$$
$$= -\, 1{,}254$$

oder $\quad -\text{cotg} \,.\, \beta_1 = 1{,}254 = \text{cotg} \,.\, (180^0 - \beta_1)$

daraus findet sich $\quad 180^0 \;.\; \beta_1 = 38^0\, 40'$

mithin $\quad \measuredangle \beta_1 = 141^0\, 20'$

Wählt man das Verhältniss $\frac{b_1}{b_2} = \frac{1}{2}$ und $\frac{r_1}{r_2} = 1$, so lässt sich der Winkel β_2 vorerst näherungsweise bestimmen; indem man behufs einer ersten Annäherung den Ausdruck

$$i = k_1 \cdot \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} = 1$$

setzt, findet man aus der Gleichung

$$\text{tg}\,(\beta_2) = i \cdot \frac{b_1}{b_2} \cdot \left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2 \cdot \frac{\varepsilon - \lambda}{\varepsilon^2} \cdot m \cdot \sin 2\alpha = 1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot \frac{1}{0{,}76} \cdot 0{,}8 \cdot \sin 40^0$$
$$= 0{,}337$$

und daraus den Näherungswerth

$$\measuredangle (\beta_2) = (18^0\, 40')$$

Die absolute Geschwindigkeit wird

$$u = \sqrt{2g \,.\, m \,.\, H} = \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 0{,}8 \,.\, 2{,}90} = 6{,}75 \text{ mtr. pro Sec.}$$

Die Umfangsgeschwindigkeit der Turbine

$$v = \frac{\varepsilon}{\cos \alpha} \cdot \sqrt{\frac{gH}{2 \,.\, m}} = \frac{0{,}76}{\cos \,.\, 20^0} \cdot \sqrt{\frac{9{,}81 \,.\, 2{,}90}{2 \,.\, 0{,}8}} = 3{,}44 \quad \text{„} \quad \text{„} \quad \text{„}$$

Der mittlere Radius r der Turbine ist bestimmt durch die Gleichung:

$$r = \sqrt{\frac{p \cdot Q}{k \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot 2\pi \cdot \sin \alpha \cdot \frac{b_1}{r} \cdot u}}$$

Dabei ist angenommen, dass die Partialität der Turbine . . . . . $p = 2$
das Product der Coefficienten . . . . $k \,.\, k_0 \,.\, k_1 = 0{,}8$
und das Verhältniss . . . . . $\frac{b_1}{r} = \frac{1}{4}$

sei. Setzt man diese Werthe ein, so findet sich der mittlere Radius

$$r = \sqrt{\frac{2 \,.\, 1{,}05}{0{,}8 \,.\, 2 \,.\, 3{,}14 \,.\, \sin 20^0 \,.\, 0{,}25 \,.\, 6{,}75}} \quad . \quad . = 0{,}854 \text{ mtr.}$$

Die Dimensionen, sowie die Anzahl der Leit- und Turbinen-Schaufeln mögen folgender Maassen angenommen werden:

Die Dicke der Leitschaufeln (Schmiedeeisen) . . $\delta_0 = 0{,}005$ mtr.
Die Dicke der Turbinenschaufeln (dto.) . $\delta_1 = \delta_2 = 0{,}006$ „
Die Anzahl der Leitschaufeln . . . . . $z_0 = 20$
Die Anzahl der Turbinenschaufeln . . . . $z = 40$

Von den Leitschaufeln kommen je 10 einander diametral gegenüber zu liegen. Der übrig bleibende Raum des Leitapparates ist für den Durchgang des Wassers geschlossen.

Mit diesen Annahmen ergibt sich die Weite der Leitkanäle

$$a_0 = \frac{2 r \pi}{z_0} \cdot \sin \alpha - \delta_0$$

wobei wegen der vorgeschriebenen Partialität $p = 2$ die Anzahl der Leitschaufeln $z_0 = 2 \,.\, 20 = 40$ gesetzt werden muss; somit wird die Weite

$$a_0 = \frac{2 \,.\, 0{,}854 \,.\, 3{,}14}{40} \cdot \sin \cdot 20^0 - 0{,}005 \quad . = 0{,}04 \text{ mtr.}$$

Die Weite der Laufradkanäle wird

$$a_1 = \frac{2 r \pi}{z} \cdot \sin \beta_1 - \delta_1 = \frac{2 \,.\, 0{,}854 \,.\, 3{,}14}{40} \cdot \sin \cdot 141^0 20' - 0{,}006$$
$$= 0{,}077 \text{ mtr.}$$

Die Weite a_2 berechnet sich vorerst näherungsweise gemäss der Gleichung:

$$(a_2) = \frac{2 r \pi}{z} \cdot \sin (\beta_2) - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 0{,}854 \,.\, 3{,}14}{40} \cdot \sin (18^0 40') - 0{,}006$$
$$= (0{,}037 \text{ mtr.})$$

Die obere Breite der Laufradkanäle ist

$$b_1 = \frac{1}{4} \cdot r = \frac{1}{4} \cdot 0{,}854 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}213 \text{ mtr.}$$

Die untere Breite der Laufradkanäle ist

$$b_2 = 2 \,.\, b_1 = 2 \,.\, 0{,}213 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}426 \quad „$$

Nun lässt sich i näher bestimmen durch die Gleichung:

$$i = k_1 \cdot \frac{a_1}{(a_2)} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin (\beta_2)}{\sin \beta_1}$$

worin

$$k_1 = \frac{a_0}{a_0 + \delta_0} = \frac{0{,}04}{0{,}04 + 0{,}005} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot = 0{,}88$$

man erhält dann

$$i = 0{,}88 \cdot \frac{0{,}077}{(0{,}037)} \cdot 1 \cdot \frac{\sin(18^0\,40')}{\sin.\,141^0\,20'} \quad \cdot \quad \cdot = 0{,}94$$

Der corrigirte Werth von β_2 findet sich hiernach aus der Gleichung:

$$\text{tg}\,.\,\beta_2 = i\,.\,\text{tg}\,.\,(\beta_2) = 0{,}94\,.\,\text{tg}\,.\,(18^0\,40') = 0{,}317$$

woraus $\sphericalangle\,\beta_2 = 17^0\,35'$

Der corrigirte Werth von a_2 ist

$$a_2 = \frac{2r\pi}{z} \cdot \sin\beta_2 - \delta_2 = \frac{2\,.\,0{,}854\,.\,3{,}14}{40} \cdot \sin \cdot\, 17^0\,35' - 0{,}006$$

$$= 0{,}036 \text{ mtr.}$$

Die Umdrehungszahl der Turbine pro Minute wird

$$n = 9{,}55 \cdot \frac{v}{r} = 9{,}55 \cdot \frac{3{,}44}{0{,}854} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot = 38{,}5.$$

Regulirung.

Der Ringschieber ist mit einem Zahnkranz vom Theilkreishalbmesser . . . . . = 1,036 mtr. versehen, in welchen ein Zahnrad mit 16 Zähnen eingreift.

Der Zahnkranz des Ringschiebers würde im Ganzen 196 Zähne erhalten, bekommt jedoch, da der Ringschieber nur $\frac{1}{4}$ Umdrehung macht, blos $\frac{196}{4} = 49$ Zähne.

Die hiebei stattfindende Uebersetzung ist . . . . $\frac{16}{196}$

Die Uebersetzung von der Handkurbel auf den Ringschieber ist derart angeordnet, dass letzterer $\frac{1}{4}$ Umdrehung macht, wenn die Handkurbel 40 Touren macht.

Um diese Uebersetzung zu erreichen, wendet man an:

eine Schneckenrad-Uebersetzung . . . . . $= \frac{1}{40}$

eine Kegelrad-Uebersetzung . . . . . $= \frac{2}{1}$

eine Kegelrad-Uebersetzung . . . . . $= \frac{3}{2}$

so dass

$$40 \cdot 2 \cdot \frac{3}{2} \cdot \frac{1}{40} \cdot \frac{16}{196} = \frac{48}{196} = \frac{1}{4} \text{ Umdrehung}$$

wird.

Uebersetzung.

Damit die Transmissionswelle der Fabrik 100 Touren macht, ist eine Uebersetzung von $\frac{100}{38,5}$ herzustellen, was durch zwei Paar Kegelräder erreicht werden soll.

Das erste Räderpaar habe die Halbmesser R_1 und R_2

„ zweite „ „ „ „ r_1 „ r_2

dann ist

$$\frac{R_1}{R_2} \cdot \frac{r_1}{r_2} = \frac{100}{38,5} = 2,6 = 2 \cdot 1,3$$

so dass

$$\frac{R_1}{R_2} = 2 \text{ und } \frac{r_1}{r_2} = 1,3$$

zu setzen ist.

F. Reincke.

Girard-Partialturbine zum Betriebe einer mechanischen Weberei. (Blatt 16 und 17.)

Die disponible Wassermenge ist veränderlich und beträgt im Maximum . Q_{max} = 0,29 cbmtr. pro Sec.
Schwankung des Unterwasserstandes . . ca. 0,12 mtr.
Bei stärkstem Wasserzufluss (höchsten Wasserständen) ist das Nutzgefälle, gemessen vom oberen Sammelkasten bis zum Abflusskanal im Turbinenhaus H = 16,00 mtr.
Der Fussboden des unteren Fabrikraumes kommt um . . . . . 4 mtr. über den höchsten Unterwasserspiegel zu liegen.
Die Deckentransmissions-Wellen der Websäle sollen . . . . . 150 Touren pro Minute machen.

Das Rad soll einen Regulirschieber am Einlaufe, und zum raschen Abstellen eine darüber befindliche Drosselklappe erhalten.

Die Wasserzuführung geschieht durch ein den Abhang herabführendes Blechrohr, dessen ganze Länge ungefähr 75 mtr. betragen wird.

Berechnung des Durchmessers des Zuleitungsrohres.

Nimmt man die Geschwindigkeit des Wassers in der Leitung . . . . . $w = 0{,}80$ mtr.

an, so wird der Halbmesser r des Rohres

$$r = \sqrt{\frac{Q_{max}}{\pi \,.\, w}} = \sqrt{\frac{0{,}29}{3{,}14 \,.\, 0{,}80}} \;.\;.\;.\;.\;.\; = 0{,}331 \text{ „}$$

Daher macht man den Durchmesser des Rohres $d = \sim 0{,}65$ „

Berechnung des Gefällverlustes.

Durch die lange Leitung entsteht ein Gefällverlust, welcher vom Nutzgefälle abgezogen werden muss.

Dieser Gefällverlust Z findet sich (nach Redtenbacher pag. 126)

$$Z = \frac{4\,L}{d}(\alpha\, u + \beta\, u^2) = \frac{4 \,.\, 75}{0{,}65} \cdot 0{,}0002368 \;=\; 0{,}109 \text{ mtr.}$$

Dadurch erhält man ein Nutzgefälle

$$H' = H - Z = 16{,}00 - 0{,}109 \;.\;.\;.\; = 15{,}89 \text{ „}$$

Berechnung der Turbine.

Setzt man die Charakteristik . . . . . $m = 0{,}8$

so wird die Geschwindigkeit des aus dem Leitapparate austretenden Wassers (nach Redtenbacher pag. 169)

$$u = 3{,}962 \,.\, \sqrt{H'} = 3{,}962 \,.\, \sqrt{15{,}89} \;.\;.\; = 15{,}77 \text{ mtr.}$$

Wählt man den Winkel . . . . . $\alpha = 15^0$

so findet sich Winkel β_1 aus der Gleichung

$$\text{cotg} \,.\, \beta_1 = -\,\text{cotg} \,.\, \alpha + \frac{0{,}95}{\sin \,.\, 2\alpha} = -\,\text{cotg} \,.\, 15^0 + \frac{0{,}95}{\sin \,.\, 30^0}$$

$$= -\,3{,}7321 + \frac{0{,}95}{0{,}5} = -\,1{,}8321$$

oder $\quad -\,\text{cotg}\,\beta_1 = 1{,}8321 = \text{cotg} \,.\, (180^0 - \beta_1)$

woraus $\quad 180^0 - \beta_1 = 28^0\,38'$

daher $\quad \sphericalangle\,\beta_1 = 151^0\,22'$

Wählt man das Verhältniss . . . . . $\frac{b_1}{b_2} = \frac{1}{2{,}5}$

so findet sich der Winkel β_2 (nach Redtenbacher pag. 170) aus der Gleichung

$$\text{tg} \,.\, \beta_2 = \frac{b_2}{b_1} \cdot \frac{\sin \,.\, 2\alpha}{0{,}95} = \frac{1}{2{,}5} \cdot \frac{\sin \,.\, 30^0}{0{,}95} \;.\;. \;=\; 0{,}2105$$

somit wird . . . . . $\sphericalangle\,\beta_2 = 11^0\,55'$

Die Umfangsgeschwindigkeit der Turbine wird

$$v = \frac{1{,}882}{\cos \alpha} \cdot \sqrt{H'} = \frac{1{,}882}{\cos . 15^0} \sqrt{15{,}89} \cdot \cdot = 7{,}75 \text{ mtr.}$$

Der absolute Effect der Turbine wird

$$N_0 = \frac{1000 \,.\, Q_{max} \,.\, H'}{75} = \frac{1000 \,.\, 0{,}29 \,.\, 15{,}89}{75} = 61{,}44 \text{ Pfdkr.}$$

Schätzt man den Wirkungsgrad zu . . . . $\eta = 0{,}60$

so erhält man einen Nutzeffect

$$N = \eta \,.\, N_0 = 0{,}60 \,.\, 61{,}44 \quad . \quad . \quad . \quad . = 36{,}86 \text{ Pfdkr.}$$

Wählt man die Partialität der Turbine . . $p = 6$

das Verhältniss . . . . . $\frac{b_1}{r} = \frac{1}{4}$

die Anzahl der Leitschaufeln (gezählt wie für eine Vollturbine) . . . . . $z_0 = 36$

die Anzahl der Turbinenschaufeln . . . . $z = 30$

das Verhältniss der Dicke einer Leitschaufel zum Halbmesser der Turbine . . . . . $\frac{\delta_0}{r} = \frac{1}{100}$

so findet sich der Halbmesser r der Turbine (nach Redtenbacher pag. 170)

$$r = \sqrt{\frac{p \cdot Q}{0{,}9 \left(2 \pi \sin \alpha - z \cdot \frac{\delta_0}{r}\right) \frac{b_1}{r} \cdot u}}$$

$$= \sqrt{\frac{6 \,.\, 0{,}29}{0{,}9 \left(2 \,.\, 3{,}14 \,.\, \sin 15^0 - 36 \cdot \frac{1}{100}\right) \cdot \frac{1}{4} \cdot 15{,}77}} = \sim 0{,}64 \text{ mtr.}$$

Die Dicke der Leitschaufel wird

$$\delta_0 = 0{,}01 \,.\, r = 0{,}01 \,.\, 0{,}64 \quad . \quad . \quad . \quad . = 0{,}006 \text{ „}$$

Die Dicke der Turbinenschaufeln sei . $\delta_1 = \delta_2 = 0{,}007$ „

Damit ergibt sich die Weite der Leitkanäle

$$a_0 = \frac{2 r \pi}{z_0} \cdot \sin \alpha - \delta_0 = \frac{2 \,.\, 0{,}64 \,.\, 3{,}14}{36} \cdot \sin 15^0 - 0{,}006$$

$$= 0{,}023 \text{ mtr.}$$

Die Weite der Laufradkanäle wird

$$a_1 = \frac{2 r \pi}{z} \cdot \sin \beta_1 - \delta_1 = \frac{2 \,.\, 0{,}64 \,.\, 3{,}14}{30} \cdot \sin 151^0\, 22' - 0{,}007$$

$$= 0{,}058 \text{ mtr.}$$

und

$$a_2 = \frac{2 r \pi}{z} \cdot \sin \beta_2 - \delta_2 = \frac{2 \,.\, 0{,}64 \,.\, 3{,}14}{30} \cdot \sin \,.\, 11^0\, 55' - 0{,}007$$

$$= 0{,}02 \text{ mtr.}$$

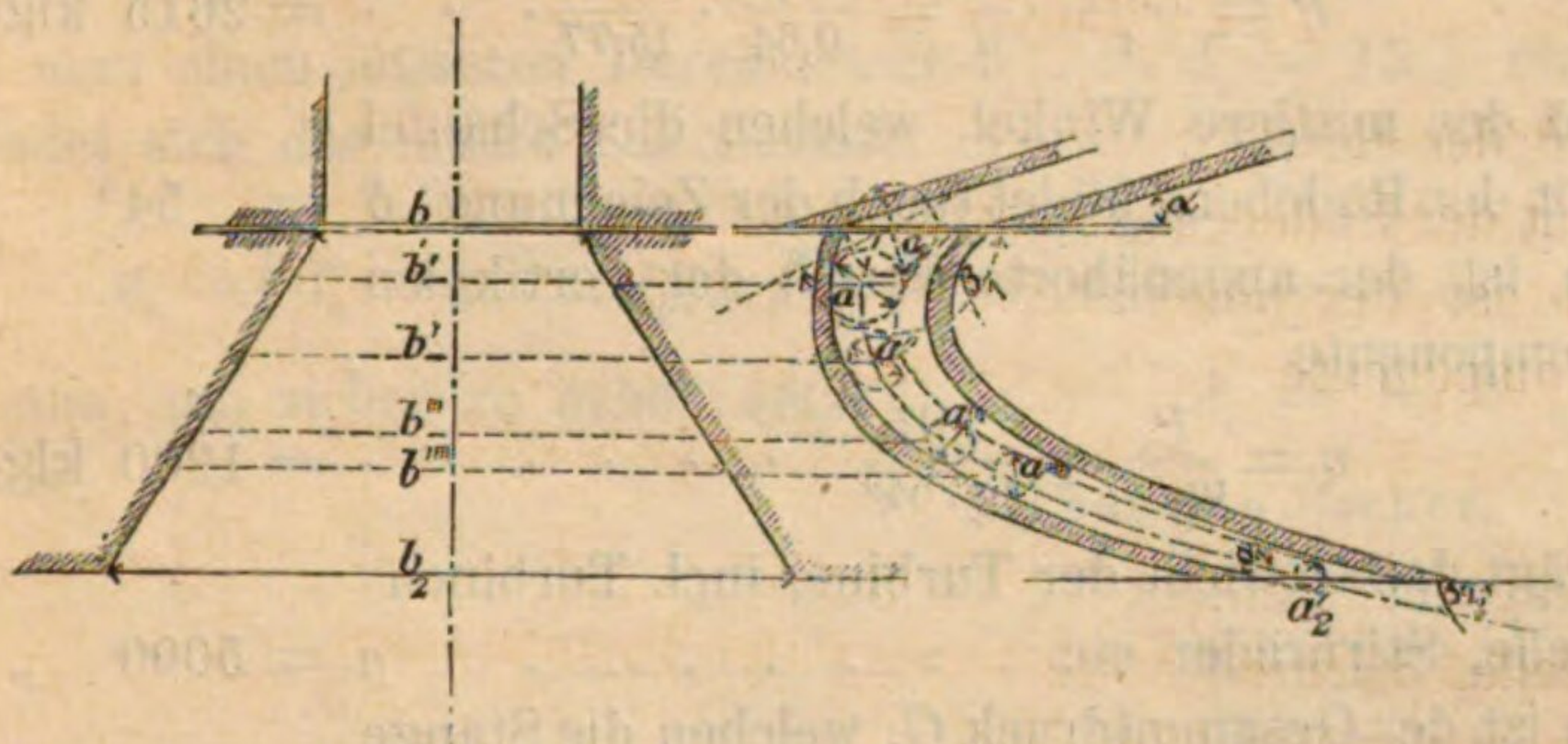
nun ist die Breite $b_1 = \frac{1}{4} \cdot r = \frac{1}{4} \cdot 0{,}64 \quad . \quad . = 0{,}16$ „

die Breite $b_2 = 2{,}5 \,.\, b_1 = 2{,}5 \,.\, 0{,}16 \quad . = 0{,}40$ „

Als weitere Zwischenwerthe ergeben sich behufs Construction der Schaufelkrümmung (aus der Zeichnung)

$b' = 0{,}18$ mtr.; $b'' = 0{,}24$ mtr.; $b''' = 0{,}30$ mtr.; $b'''' = 0{,}32$ mtr.

Aus der Zeichnung findet sich die relative Geschwindigkeit des Wassers, mit welcher es der Turbine zufliesst . . . . . $w = 8{,}5$ mtr.



Daher beträgt die pro Secunde durch die Schaufeln fliessende Wassermenge

$$Q = 30\, w \,.\, a \,.\, b$$

Mit Hilfe dieser Gleichung und den oben gefundenen Kanalbreiten b ergeben sich die denselben entsprechenden Kanalweiten

$$a = \frac{p \,.\, Q}{30 \,.\, b \,.\, w} = \frac{6 \,.\, 0{,}29}{30 \,.\, b \,.\, 8{,}5} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = \frac{0{,}00682}{b}$$

Durch Einsetzen der entsprechenden Werthe in diese allgemeine Gleichung erhält man:

$a'_1 = 0{,}043$ mtr.; $a'_2 = 0{,}017$ mtr.; $a' = 0{,}04$ mtr.;

$a'' = 0{,}028$ mtr.; $a''' = 0{,}023$ mtr.; $a'''' = 0{,}021$ mtr.

Die Umdrehungszahl der Turbine pro Minute wird

$$n = 9{,}55 \cdot \frac{v}{r} = 9{,}55 \cdot \frac{7{,}75}{0{,}64} \quad . \quad . \quad . \quad . = \sim 115$$

somit erhält man eine Uebersetzung

$$i = \frac{150}{115} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}3$$

Der Durchmesser der schmiedeisernen vertikalen Transmissionswelle wird

$$d = 12 \,.\, \sqrt[3]{\frac{N}{n}} = 12 \,.\, \sqrt[3]{\frac{36{,}23}{115}} \quad . \quad . \quad . \quad = \sim 9 \text{ ctm.}$$

Berechnung der schmiedeisernen Tragstange, auf welcher der stählerne Oberwasserzapfen ruht.

Die Stange ist auf Zerknickung beansprucht durch eine Kraft = dem vertikalen Wasserdruck + dem Eigengewicht der Turbine.

Der normale Wasserdruck zerlegt sich in eine horizontale Componente P und in eine vertikale Componente V.

Es ist

$$P = \frac{716{,}20}{r} \cdot \frac{N}{u} = \frac{716{,}20}{0{,}64} \cdot \frac{36{,}86}{15{,}77} \cdot \quad \cdot \quad \cdot = 2615 \text{ klgr.}$$

Ist δ der mittlere Winkel, welchen die Schaufel mit der Radebene bildet (nach der Zeichnung) $\delta = 54^0$
so ist der angenäherte Werth der vertikalen Componente

$$v = \frac{P}{\text{tg} \cdot \delta} = \frac{2615}{\text{tg} \cdot 54^0} \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot = 1900 \text{ klgr.}$$

Beträgt das Gewicht der Turbine, incl. Turbinenwelle, Stirnräder etc. . . . . $g = 5000$ „
so ist der Gesammtdruck G, welchen die Stange auszuhalten hat,

$$G = g + V = 5000 + 1900 = 6900 \text{ klgr.} = \sim 7000 \text{ klgr.}$$

Es muss nun die Gleichung bestehen:

$$\frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2} = m \cdot G$$

oder für 10fache Sicherheit (also $m = 10$)

$$\frac{3{,}14^2 \cdot 2000000 \cdot J}{170^2} = 10 \cdot 7000$$

Daraus findet sich das Trägheits-Moment

$$J = \frac{10 \cdot 7000 \cdot 170^2}{3{,}14^2 \cdot 2000000} \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot = \sim 102$$

nun ist für einen kreisförmigen Querschnitt vom Durchmesser d das Trägheitsmoment . . $J = 0{,}0491\, d^4$
Daher erhält man den Durchmesser der Stange aus der Gleichung

$$d = \sqrt[4]{\frac{J}{0{,}0491}} = \sqrt[4]{\frac{102}{0{,}0491}} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot = \sim 7 \text{ ctm.}$$

Berechnung der hohlen gusseisernen vertikalen Welle.

Dieselbe ist hauptsächlich auf Torsion beansprucht mit einem Momente

$$P \cdot r = 2615 \cdot 0{,}64 \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot = 167360 \text{ klgrctm.}$$

Für eine hohle Welle besteht aber die Gleichung

$$P \,.\, r = T \cdot \frac{\pi}{16} = \frac{d^4{}_a - d^4{}_i}{d_a}$$

setzt man in diese Gleichung die entsprechenden Werthe ein, und ausserdem $T = 300$ klgr. pro □ctm., so findet sich

$$\frac{d^4{}_a - d^4{}_i}{d_a} = \frac{16 \,.\, P \,.\, r}{T \,.\, \pi} = \frac{16 \,.\, 167360}{300 \,.\, 3{,}14} \quad . \quad . \quad . = 2842$$

Nimmt man einen äusseren Durchmesser . . . $d_a = 15$ ctm.
so findet sich der innere Durchmesser

$$d_i = \sqrt[4]{d^4_a - 2842 \,.\, d_a} = \sqrt[4]{53625 - 42630} = 10{,}24 \text{ „}$$

wofür man, um sicher zu gehen, setzt . . . . $d_i = 8$ „

Arthur von Escher.

Tangentialrad-Anlage zum Betriebe einer mechanischen Weberei. (Blatt 18.)

Die disponible Wassermenge ist veränderlich und beträgt im Maximum	Q_{max}	= 420 Liter pro Sec.
im Minimum	Q_{min}	= 230 „ „ „
Schwankung des Unterwasserstandes . . .		0,13 mtr.
Bei stärkstem Wasserzufluss (höchsten Wasserständen) ist das Nutzgefälle, gemessen vom oberen Sammelkasten bis zum Abflusskanal im Turbinenhaus	H	= 15,45 „
Die Deckentransmissions-Wellen der Weberei sollen . . . . . pro Minute machen.		200 Touren
Der Fussboden des unteren Arbeitssaales kommt um . . . . . über den höchsten Unterwasserspiegel zu liegen.		4,70 mtr.
Das Rad erhält zwei mit Regulirschiebern zu versehende Einläufe und zum raschen Abstellen eine Drosselklappe.		

Die Wasserzuleitung geschieht durch ein Blechrohr, welches sich an den Boden des oberen Sammelkastens anschliesst und eine Länge von . . . . . L = ca. 60 mtr. erhalten wird.

Berechnung der Hauptdimensionen des Tangentialrades.

Für eine Geschwindigkeit des Wassers in der Zuleitungsröhre von . . . . . u_0 = 1 mtr. pro Sec. findet sich der Durchmesser des Wasserzuleitungsrohres aus der Gleichung:

$$D = \sqrt{\frac{4\,Q_{max}}{\pi \,.\, u_0}} = \sqrt{\frac{4\,.\,0{,}42}{3{,}14\,.\,1}} \quad . \quad . \quad . = \sim 0{,}70 \text{ mtr.}$$

Durch die Röhrenleitung entsteht ein Gefällverlust, welcher sich bestimmen lässt (nach Redtenbacher) aus der Gleichung:

$$Z = \frac{4\,L}{D}\,(\alpha u_0 + \beta u_0^{\,2})$$

Für $u_0 = 1$ erhält man aus der Redtenbacher'schen Tabelle (pag. 128) $\alpha u_0 + \beta u_0^{\,2}$ . . . = 0,0003656

Diese Werthe in obige Gleichung eingesetzt, liefert einen Gefällverlust

$$Z = \frac{4\,.\,60}{0{,}70} \cdot 0{,}0003656 \;.\;.\;.\;.\;. = 0{,}12 \text{ mtr.}$$

Ausserdem hat man vom disponiblen Gefälle noch die halbe Höhe des Rades . . . h_1 = 0,13 „ abzuziehen, so dass man ein Nutzgefälle erhält:

$$H' = H - Z - h_1 = 15{,}45 - 0{,}12 - 0{,}13 = 15{,}20 \text{ „}$$

Man erhält nun einen absoluten Effect

$$N_{0\,max} = \frac{1000\,.\,Q_{max}\,.\,H'}{75} = \frac{1000\,.\,0{,}42\,.\,15{,}20}{75} = 85{,}12 \text{ Pfdkr.}$$

Veranschlagt man den Wirkungsgrad zu . η = 0,70 so ergibt sich ein Nutzeffect:

$$N_{max} = \eta\,.\,N_{0\,max} = 0{,}70\,.\,85{,}12 \quad . = 59{,}58 \text{ Pfdkr.}$$

Der weiteren Berechnung seien folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

Der Leitschaufel-Winkel . . . . . $\alpha = 10^0$

Die Partialität . . . . . p = 9

Das Verhältniss des äusseren Halbmessers r_1
zur Höhe δ des Rades . . . . . $\frac{r_1}{\delta} = 4$

Das Verhältniss des inneren und äusseren
Halbmessers . . . . . $\frac{r_2}{r_1} = 0{,}8$

Mit Benützung der Redtenbacher'schen Formeln ergibt sich nun:

Der Winkel β, welchen die an den äussersten Punkt einer Radschaufel gezogene Tangente mit dem äusseren Umfang des Rades bildet $\beta = 2\ \alpha = 20^0$

Der Winkel γ, unter welchem die Radschaufel den inneren Umfang des Rades durchschneidet, findet sich aus der Gleichung:

$$\sin \cdot \gamma = \frac{\sin . \beta}{\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2} = \frac{\sin . 20^0}{0{,}64} \cdot \cdot \cdot \cdot = 0{,}5344$$

Daraus ergibt sich Winkel . . . . . $\sphericalangle \gamma = 32^0 18'$

Die Austrittsgeschwindigkeit des Wassers aus den Leitkanälen wird

$$u = \sqrt{2 g H'} = \sqrt{2 . 9{,}81 . 15{,}20} . \quad . = 17{,}26 \text{ mtr.}$$

Der äussere Halbmesser des Rades findet sich aus der Gleichung:

$$r_1 = \sqrt{\frac{Q_{max}}{u} \cdot \frac{p}{2\pi . \sin \alpha} \cdot \frac{r_1}{\delta}}$$

hierin die entsprechenden Werthe eingesetzt, liefert

$$r_1 = \sqrt{\frac{0{,}42}{17{,}26} \cdot \frac{9}{2 . 3{,}14 . \sin 10^0} \cdot 4} \quad \cdot = 0{,}896 \text{ mtr.}$$

Der innere Halbmesser wird

$$r_2 = 0{,}8 \quad r_1 = 0{,}8 . 0{,}896 \quad . \quad . \quad . = 0{,}717 \quad \text{„}$$

Die Höhe des Rades ist . . $\delta = \frac{r_1}{4} = \frac{0{,}896}{4} = 0{,}224$ „

Die Anzahl der Radschaufeln kann genommen werden

$$z = 35 + 50 . r_1 = 35 + 50 . 0{,}896 = \sim 80$$

Die Umfangsgeschwindigkeit des Rades wird

$$v = \frac{u}{2 . \cos \alpha} = \frac{17{,}26}{2 . \cos . 10^0} \cdot \cdot \cdot \cdot = 8{,}76 \text{ mtr.}$$

Die Anzahl der Umdrehungen des Rades pro Minute wird

$$n = 9{,}55 \cdot \frac{v}{r_1} = 9{,}55 \cdot \frac{8{,}76}{0{,}896} \cdot \cdot \cdot = 83{,}6$$

Für den Durchmesser der gusseisernen Welle erhält man

$$d = 16 \cdot \sqrt[3]{\frac{N_{max}}{n}} = 16 \cdot \sqrt[3]{\frac{59{,}58}{83{,}6}} \cdot = 14{,}3 \text{ ctm.}$$

Charles Scharff.

Tangentialrad-Anlage. (Blatt 19 und 20.)

Die disponible Wassermenge beträgt

im Maximum . . . . . $Q_{max} = 430$ Liter pro Sec.
im Minimum . . . . . $Q_{min} = 210$ „ „ „

Grösste Schwankung des Unterwasserstandes ca. 0,14 mtr.

Bei stärkstem Wasserzufluss (höchsten Wasserständen) ist das nutzbare Gefälle (gemessen vom oberen Sammelkasten bis zum Abfluss im Turbinenhaus) . . . . . $H = 20{,}25$ „

Der Fussboden des unteren Arbeitssaales kommt um . . . . . 4,40 „ über den höchsten Unterwasserspiegel zu liegen.

Die von der Turbine zu treibende verticale Hauptwelle der Fabrik soll . . . . . 120 Touren pro Minute machen.

Die Wasserzuleitung geschieht durch ein den Abhang herabführendes Blechrohr, welches sich im Turbinenhaus in 2 Arme theilt. Unmittelbar vor dieser Abzweigung ist eine Drosselklappe, sowie ein Leerlauf mit Schieberverschluss angebracht.

Das Rad erhält 2 mit Regulirschieber versehene Einläufe.

Die ganze Rohrleitung hat eine Länge . $L = 80$ mtr.

Berechnung.

Der Durchmesser des Wasserzuleitungsrohres sei angenommen zu . . . . . $d = 0{,}60$ mtr.

Die grösste Geschwindigkeit v des Wassers in der Rohrleitung wird dann

$$v = \frac{Q_{max}}{F} = \frac{0{,}430}{\frac{\pi \,.\, 0{,}60^2}{4}} \quad . \quad . \quad . \quad . = 1{,}52 \text{ mtr. pro Sec.}$$

Berechnung der Druckhöhen-Verluste.

1) Der Verlust durch den Röhrenwiderstand ergibt sich (nach Weisbach) aus der Gleichung:

$$Z_1 = \left(\alpha + \frac{\beta}{\sqrt{v}}\right) \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

darinnen sind α und β bestimmte Constante, $g = 9{,}81$ mtr. die Beschleunigung der Schwere; durch Einsetzen der betreffenden Werthe findet sich

$$Z_1 = \left(0{,}0144 + \frac{0{,}00947}{\sqrt{1{,}52}}\right) \cdot \frac{80}{0{,}60} \cdot \frac{1{,}52^2}{2 \,.\, 9{,}81} = \quad 0{,}348 \text{ mtr.}$$

2) Der Verlust durch die Krümmungen der Röhre wird (nach Weisbach) angenommen zu . . $Z_2 = \quad 0{,}004$ „

3) Der Verlust durch die Eintrittsgeschwindigkeit des Wassers ist

$$Z_3 = \frac{v^2}{2 \,.\, g} = \frac{1{,}52^2}{2 \,.\, 9{,}81} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . = \quad 0{,}118 \text{ „}$$

4) Der Verlust, welcher durch den Eintrittswiderstand bedingt ist, findet sich (nach Grashof) aus der Gleichung:

$$Z_4 = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} = 0{,}5 \cdot \frac{1{,}52^2}{2 \,.\, 9{,}81} \quad . \quad . \quad . \quad . = \quad 0{,}059 \text{ „}$$

(dabei ist $\xi = 0{,}5$ der Widerstands-Coefficient).

5) Der Verlust, durch die Rohrverbindungen und Nieten verursacht, sei gesetzt zu . . . . $Z_5 = \quad 0{,}060$ „

6) Der Verlust in Folge der Drosselklappe sei $Z_6 = \quad 0{,}006$ „

Somit ergibt sich der gesammte Gefällverlust

$$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 = 0{,}595 = \sim 0{,}60 \text{ „}$$

Das Nutzgefälle beträgt nun (für Maximalwasser)

$$H' = H - Z = 20{,}25 - 0{,}60 \quad . \quad . \quad . = \quad 19{,}65 \text{ „}$$

Man erhält mithin einen absoluten Effect
im Maximum

$$N_{0\,max} = \frac{1000 \,.\, Q_{max} \,.\, H'}{75} = \frac{1000 \,.\, 0{,}430 \,.\, 19{,}65}{75} = 112{,}66 \text{ Pfdkr.}$$

Schätzt man einen Wirkungsgrad . . . . $\eta = 0{,}70$
so ergibt sich der Nutzeffect
im Maximum $N_{max} = \eta \,.\, N_{0\,max} = 0{,}70 \,.\, 112{,}66 = \sim 78$ Pfdkr.

Bei Minimalwasser ist der Nutzeffect nahezu im Verhältniss der beiden Wassermengen kleiner.

Berechnung des Tangentialrades.

Es seien folgende Annahmen zu Grunde gelegt:

Der Winkel, welchen die Richtung der mittleren Austrittsgeschwindigkeit des Wassers aus den Leitkanälen mit dem Radumfange bildet, sei angenommen zu . . $\alpha = 12^0$
Die Charakteristik . . . . . $m = 0{,}9$
Der hydraulische Wirkungsgrad . . . . . $\varepsilon = 0{,}75$
Der Coefficient . . . . . $\lambda = 0$
Das Verhältniss . . . . . $\frac{b_1}{b_2} = 0{,}8$
Das Verhältniss . . . . . $\frac{r_1}{r_2} = \frac{5}{4}$

Mit diesen Annahmen findet sich der Winkel β_1 aus der Gleichung:

$$\cot g \cdot \beta_1 = - \cot g \cdot \alpha + \frac{\varepsilon^2}{\varepsilon - \lambda} \cdot \frac{1}{m \,.\, \sin 2\alpha}$$

$$= - \cot g \cdot 12^0 + 0{,}75 \cdot \frac{1}{0{,}9 \,.\, \sin \,.\, 24^0} = - 2{,}6556$$

oder $- \cot g \, \beta_1 = 2{,}6556 = \cot g \, (180^0 - \beta_1)$
woraus $\sphericalangle \beta_1 = 180^0 - 20^0 38' = 159^0 62'$

Der Winkel β_2 bestimmt sich vorerst näherungsweise aus der Gleichung:

$$\operatorname{tg} \cdot \beta_2 = i \cdot \frac{b_1}{b_2} \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2 \cdot \frac{\varepsilon - \lambda}{\varepsilon^2} \cdot m \cdot \sin 2\alpha$$

Setzt man behufs einer ersten Annäherung den Ausdruck:

$$i = k_1 \cdot \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1} = 1$$

so findet sich

$$\operatorname{tg} \beta_2 = 1 \cdot 0{,}8 \cdot \left(\frac{5}{4} \right)^2 \cdot \frac{1}{0{,}75} \cdot 0{,}9 \cdot \sin \cdot 24^0 = 0{,}61$$

mithin $\sphericalangle (\beta_2) = (31^0 23')$

Die absolute Geschwindigkeit ist

$$u = \sqrt{2g \,.\, H' \,.\, m} = \sqrt{2 \,.\, 9{,}81 \,.\, 19{,}65 \,.\, 0{,}9} = 18{,}628 \text{ mtr. pro Sec.}$$

Setzt man

das Verhältniss . . . . . $\frac{b_1}{r_1} = \frac{1}{4}$

die Partialität . . . . . $p = 6$

das Product der Coefficienten $k \,.\, k_0 \,.\, k_1 = 0{,}85$

so findet sich der äussere Radhalbmesser

$$r_1 = \sqrt{\frac{p \cdot Q_{max}}{k \cdot k_0 \cdot k_1 \cdot 2\pi \cdot \sin\alpha \cdot \frac{b_1}{r_1} \cdot u}} = \sqrt{\frac{6 \cdot 0{,}430}{0{,}85 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot \sin 12^0 \cdot 0{,}25 \cdot 18{,}628}}$$

$$= 0{,}707 \text{ mtr.}$$

der innere Radhalbmesser $r_2 = \frac{4}{5} \,.\, 0{,}707 \,. = 0{,}566$ „

Die Schaufeldicke sei angenommen zu $\delta_0 = 0{,}006$ „

Die Schaufelzahl findet sich aus der Gleichung:

$$z = 18 + 65 \,.\, r_1 = 18 + 65 \,.\, 0{,}707 = \sim 64$$

Die Radtheilung wird

$$t = \frac{2r_1 \,.\, \pi}{z} = \frac{2 \,.\, 0{,}707 \,.\, 3{,}14}{64} \,. \,. = 0{,}069 \text{ mtr.}$$

Die Höhe des Rades an der Eintrittsstelle des Wassers sei

$$b_1 = 0{,}3 \,.\, r_1 = 0{,}3 \,.\, 0{,}707 \,. \,. = 0{,}212 \text{ „}$$

Die Höhe des Rades an der Austrittsstelle des Wassers wird

$$b_2 = \frac{b_1}{0{,}8} = \frac{0{,}212}{0{,}8} \,. \,. \,. \,. = 0{,}265 \text{ „}$$

Die radiale Breite des Schaufelkanales wird

$$r_1 - r_2 = 0{,}707 - 0{,}566 \,. \,. = 0{,}141 \text{ „}$$

Die äussere Umfangsgeschwindigkeit v_1 des Tangentialrades beträgt

$$v_1 = \frac{\varepsilon}{\cos\alpha} \cdot \sqrt{\frac{g \,.\, H'}{2 \,.\, m}} = \frac{0{,}75}{\cos \,.\, 12^0} \cdot \sqrt{\frac{9{,}81 \,.\, 19{,}65}{2 \,.\, 0{,}9}} = 7{,}935 \text{ „ pro Sec.}$$

Die innere Umfangsgeschwindigkeit v_2 wird

$$v_2 = \frac{r_2}{r_1} \cdot v_1 = \frac{4}{5} \cdot 7{,}935 \,. \,. = 6{,}348 \text{ „ „ „}$$

Der Querschnitt des Leitapparates für den Austritt des Wassers wird

$$F = \frac{Q_{max}}{u} = \frac{0{,}430}{18{,}628} \,. \,. \,. = 0{,}0231 \square \text{mtr.}$$

Bei 2 Einläufen von je 3 Leitkanälen bestimmt sich vorläufig die Weite a_0 eines Leitkanales aus der Gleichung:

$$a_0 = \frac{F}{6 \,.\, b_1} = \frac{0{,}0231}{6 \,.\, 0{,}212} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot = 0{,}0182 \text{ mtr.}$$

Die Länge l des Einlaufbogens eines Leitkanales ist

$$l = \frac{2 r_1 \,.\, \pi}{p} \cdot \frac{1}{6} = \frac{2 \,.\, 0{,}707 \,.\, 3{,}14}{6 \,.\, 6} \quad \cdot \cdot \cdot = 0{,}123 \quad \text{„}$$

mithin beträgt die Anzahl der auf einen Leitkanal kommenden Radschaufeln

$$z_0 = \frac{l}{t} = \frac{0{,}123}{0{,}069} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot = 1{,}78$$

Setzt man die Breite der abgeschrägten Schaufelenden . . . . . $\delta_1 = 0{,}003$ mtr.

so ergibt sich die corrigirte Weite eines Leitkanales

$$a_0 = \frac{F}{6 \,.\, b_1} + z_0 \cdot \delta_1 = \frac{0{,}0231}{6 \,.\, 0{,}212} + 1{,}78 \cdot 0{,}003 = 0{,}023 \quad \text{„}$$

Die Zahl der in beide Einläufe fallenden Radschaufeln beträgt

$$z'_0 = \frac{z}{p} = \frac{64}{6} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot = 10{,}66$$

Was die Querschnitte F_1 und F_2 der von Wasser durchströmten Radkanäle betrifft, so kann man annähernd die relative Eintrittsgeschwindigkeit w_1 des Wassers = der äusseren Umfangsgeschwindigkeit v_1 des Rades, und die relative Austrittsgeschwindigkeit w_2 = der inneren Umfangsgeschwindigkeit v_2 des Rades setzen; auf diese Weise erhält man:

$$F_1 = \frac{Q_{max}}{w_1} = \frac{Q_{max}}{v_1} = \frac{0{,}430}{7{,}935} \quad \cdot \cdot \cdot = 0{,}0542 \square \text{mtr.}$$

Die normale Weite des Schaufelraumes für den Eintritt des Wassers ist somit

$$a_1 = \frac{F_1}{b_1 \,.\, z'_0} = \frac{0{,}0542}{0{,}212 \,.\, 10{,}66} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot = 0{,}024 \text{ mtr.}$$

und für den Austritt des Wassers

$$F_2 = \frac{Q_{max}}{w_2} = \frac{Q_{max}}{v_2} = \frac{0{,}430}{6{,}348} \quad \cdot \cdot \cdot = 0{,}0677 \square \text{mtr.}$$

woraus die Normalweite an der Austrittsstelle:

$$a_2 = \frac{F_2}{b_2 \,.\, z'_0} = \frac{0{,}0677}{0{,}265 \,.\, 10{,}66} \quad \cdot \cdot \cdot \cdot = 0{,}024 \text{ mtr.}$$

Ein corrigirter Werth des Winkels β_2 ergibt sich zu . . . . . $\beta_2 = \sim 32^0$

Die Anzahl der Umdrehungen des Rades pro Minute wird

$$n = 9{,}55 \cdot \frac{v_1}{r_1} = 9{,}55 \cdot \frac{7{,}935}{0{,}707} \quad \cdot \quad \cdot \quad \cdot = \sim 107$$

Der Aufgabe zufolge soll die von der Turbine zu treibende verticale Hauptwelle der Fabrik 120 Touren pro Minute machen, mithin ist eine Uebersetzung nöthig

$$i = \frac{120}{107} = 1{,}12\,.$$

Max Schoch.

CARLSRUHE.
Druck der G. BRAUN'schen Hofbuchdruckerei.

L. GEISSENDÖRFER

Lithographische Anstalt & Steindruckerei

in

CARLSRUHE.

Anfertigung

aller

lithographischen, kalligraphischen & autographischen Arbeiten,

als:

VISIT-, GRATULATIONS-, VERLOBUNGS-, ADRESS- & BALLKARTEN,

Tanz-Ordnungen,

Speise- & Weinkarten.

Ferner:

Cassenscheine, Wechsel,

Rechnungen, Circulaire,

Plakate,

Etiquetten bis zum feinsten Farbendruck,

Landkarten, Pläne,

Technische Zeichnungen,

DIPLOME,

Gratulationen & Adressen.

Tabellen & Formularien für Telegraphen, Eisenbahnen, Aemter, Industrielle etc.

BSB Bayerische StaatsBibliothek
MDZ Münchener DigitalisierungsZentrum Digitale Bibliothek

Hart, Josef

Constructionen aus dem Maschinenbau nach den Vorträgen des Hrn. Prof. J. Hart Herausgegeben von der Maschinenbau-Schule des Grossh. Polytechnikums zu Carlsruhe. Dampfkessel. Dampfmaschinen
Bd.: [2,3]

Carlsruhe 1877

2 Math.a. 43 m-2
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11350290-6